

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ  
І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Пояснювальна записка  
до випускної магістерської роботи  
зі спеціальності 136 – Металургія  
за освітньо-професійною програмою – Ливарне виробництво чорних та  
кольорових металів і сплавів

На тему: Удосконалення технології виробництва оснащення з чавуну для  
ЛИТТЯ ЗЛИТКІВ

Виконав: магістрант групи ЛВ-23-1м \_\_\_\_\_

Керівник випускної роботи \_\_\_\_\_ Східін І.Е.

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Східін І.Е.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Савельєв С.Г.

Кривий Ріг

2024р.

					КНУ РМ.136.24.544с-04.3			
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ЗМІСТ	Лит	Лист	Листов
Разраб.	Зайцев В. С						1	1
Пров.	Сайтгареев Л.Н					ЛВ – 24м		
Т. контр.								
Н. контр.	Сайтгареев Л.Н							
Утв.	Савельев С.Г							

### Зміст

					<h2 style="margin: 0;">КНУ РМ.136.24.544с-04.3</h2>			
	Вступ				власностей, дефектів і технологій виробництва			
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	Статерозливних виливниць	Лит	Лист	Листов
	Разраб.	Зайцев В. С			ЗМІСТ		1	1
	Пров.	Сайтгареев Л.Н						
	Т. контр.							
	Н. контр.	Сайтгареев Л.Н						
	Утв.	Савельев С.Г						
						<p>ЛВ – 24м</p>		

- 1.1 Загальна класифікація виливниць
  - 1.2 Класифікація дефектів виливниць
  - 1.3 Проектування виливниць
    - 1.3.1 Основні принципи
    - 1.3.2 Геометричні розміри виливниць
  - 1.4 Технологія виробництва виливниць
    - 1.4.1 Оснащення для виливу виливниць
    - 1.4.2 Особливості лиття виливниць
  - 2 Аналіз стійкості виливниць
    - 2.1 Вплив різних факторів на стійкість виливниць
    - 2.2 Вплив підготовки виливниць до розливання
    - 2.3 Вплив поверхневого модифікування й легування
    - 2.4 Вплив часу перебування металу в виливниці
    - 2.5 Вплив коефіцієнта оборотності виливниць
  - 3 Матеріали для виробництва виливниць
    - 3.1 Обґрунтування вибору матеріалу сталерозливних виливниць
    - 3.2 Особливості застосування різних марок чавуну як матеріалу для виливниць
      - 3.2.1 Виливниці з доменного передільного чавуну з пластинчастим графітом
      - 3.2.2 Виливниці з передільного чавуну з кулястим графітом
      - 3.2.3 Застосування чавуну з вермікулярним графітом для виробництва виливниць
    - 3.3 Підготовка чавуну до модифікування
  - 4 Удосконалювання технології виробництва й способу підвищення стійкості виливниць
    - 4.1 Досвід виробництва виливниць із ЧВГ
    - 4.2 Удосконалена технологія виробництва виливниць
    - 4.3 Зниження ливарних і залишкових навантажень в виливницях при віброобробці
  - 5 Оцінка стану умов праці і безпеки виробничих процесів після впровадження результатів досліджень
  - 6 Техніко – економічна ефективність результатів впровадження в промисловості запропонованих рекомендацій
- Висновки
- Список використаних джерел

					КНУ РМ.136.24.544с-04.3			
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ЗМІСТ	Лит	Лист	Листов
Разраб.		Зайцев В. С					1	1
Пров.		Сайтгареев Л.Н				ЛВ – 24м		
Т. контр.								
Н. контр.		Сайтгареев Л.Н						
Утв.		Савельев С.Г						

## Вступ

Одним з головних завдань розвитку чорної металургії є підвищення якості виплавленої сталі й готового прокату, і зниження собівартості. Однією зі статей зниження собівартості є експлуатація змінного устаткування з мінімальним видатковим коефіцієнтом.

Підвищення якісних і економічних показників металургійного виробництва частково залежить від якості й вартості сталерозливного устаткування, зокрема виливниць.

Виливниці широко використовуються в чорній і кольоровій металургії для розливання металу в злитки, які потім передаються для подальшої технологічної переробки. Не можливо не відзначити, що в останні два десятиліття обсяги використання виливниць у сталеплавильному виробництві помітно скоротилися за рахунок широкого поширення машин для безперервного розливання. Проте, в Україні і Росії частка сталі, що розливається в злитки, висока, як і раніше (понад 50-60%), що дозволяє говорити про актуальність проблеми підвищення стійкості виливниць для зниження витрат на виробництво однієї тони сталі.

Зусиллями колективів науково-дослідних інститутів і заводських лабораторій визначені шляхи вдосконалювання якості й підвищення терміну служби виливниць, однак низка питань все ще є проблематичною й недостатньо вивченою.

Особливої уваги заслуговують наступні напрямки:

- поліпшення якості чавуну застосовуваного для виробництва виливниць;
- підвищення термостійкості робочої поверхні виливниць;
- догляд за парком експлуатованих виливниць (чищення, змащення, ремонт тощо);
- пошук методів експлуатації виливниць для підвищення їх стійкості.

Враховуючи, що скорочення витрати виливниць і підвищення їх стійкості, є важливим резервом у скороченні витрат на виробництво сталі. Необхідно більше уваги приділяти якості виготовлення й експлуатації виливниць.

Обсяги споживання виливниць багато в чому залежать від режимів їх експлуатації і інших об'єктивних і суб'єктивних факторів. До особливостей експлуатації виливниць слід віднести повторювані термічні удари при заливанні металу і наступному прогріві стінки виливниць до температур порядку 800-1000 °С під час кожного циклу експлуатації. При цьому слід враховувати, що стінка виливниць прогривається нерівномірно як по перетину, так і по висоті. З іншого боку, режими експлуатації виливниць

					КНУ РМ.136.24.544с-04.В			
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Зайцев В.С.			ВСТУП	Лит	Лист	Листов
Пров.		Сайтгареев Л.Н.						
Т. контр.								
Н. контр.		Сайтгареев Л.Н.						
Утв.		Савельев С.Г.						
						ЛВ – 24м		

можуть значно змінюватися в кожному конкретному плавильному цеху, а також сильно залежати від реальної виробничої ситуації. Питома втрата виливниць на тонну сталі становить у середньому 22-25 кг і вище, що визначає не тільки обсяг їх виробництва, але й вимагає скорочення витрати для зниження собівартості металопродукції.

У даній роботі проведені дослідження причин виходу виливниць із ладу, вплив часу перебування металу в виливницях і коефіцієнта оборотності виливниць на їхню стійкість а також вплив матеріалу виливниць на їхні експлуатаційні характеристики.

					КНУ РМ.136.24.544с-04.В	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

# 1. Аналіз експлуатаційних властивостей, дефектів і технологій виробництва сталерозливних виливниць

## 1.1 Загальна класифікація виливниць

за діючими технічними умовами, залежно від конструктивних особливостей і умов експлуатації, виливниці класифікують на кілька самостійних груп:

- по конструкції донної частини: наскрізні (без дна); глуходонні (для розливання зверху); глуходонні з отвором у дні для сифонного розливання;
- по способу утеплення верху злитка: без утеплення; з утепленням верхом, що становлять одне ціле з виливницею; зі знімними прибутковими надставками;
- за геометричною формою перетину злитка: квадратні; прямокутні; круглі; багатогранні; плоскі;
- по масі злитка: дрібні - до 1,5 т; середні - від 1,5 до 5,0 т; великі - від 5,0 до 22,0 т; надвеликі (для потреб важкого й енергетичного машинобудування) - до 400 т.

Наскрізні виливниці вживають для розливання киплячих, напівспокійних і спокійних сталей. При цьому виливниці, використовувані для розливання киплячих і напівспокійних сталей, виконуються розширеними до низу, а спокійних сталей - розширеними до верху (1,0-1,5% на сторону). За формою поперечного перерізу наскрізні виливниці можна умовно підрозділити на виливниці квадратного перетину з відношенням сторін не перевищуючим 1,1; виливниці прямокутного перетину з відношенням сторін до 1,5; листові виливниці, що мають витягнуту прямокутну форму з відношенням сторін від 1,5 до 3,5.

Для одержання злитків киплячої сталі зі зменшеним головним обрізом в практиці металургійного виробництва іноді використовувалися так звані пляшкові виливниці. У цих виливниці внутрішня порожнина головної частини виконується у вигляді усіченого конуса або піраміди з підставою в тіла злитка. Однак такі виливниці досить складні у виготовленні й менш зручні в експлуатації.

Глуходонні виливниці застосовують звичайно для розливання спокійної сталі. Такі виливниці розширені до верху й мають у дні отвір для установки сталеві пробки (при розливанні зверху) або шамотного стаканчику (при розливанні сифоном).

					КНУ РМ.136.24.544с-04.01 АВ			
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	Аналіз експлуатаційних властивостей, дефектів і технологій виробництва сталерозливних виливниць	Лит	Лист	Листов
Разраб.		Зайцев В.С						
Пров.		Сайтгареев Л.Н						
Т. контр.								
Н. контр.		Сайтгареев Л.Н						
Утв.		Савельев С.Г				ЛВ-23м		

За формою поперечного перерізу глуходонні виливниці можна також підрозділити на такі ж групи, як і наскрізні виливниці, розглянуті вище. Додатково ж можна також виділити виливниці круглого й багатогранного перетину для злитків, які надходять на трубопрокатні стани або використовуються в якості заготовки для виробництва коліс і бандажів, а також багатогранні виливниці для ковальських злитків.

Досить важливим фактором, що характеризують геометричну форму виливниць, є також форма грані виливниці, яка залежить від маси злитка й схильності сталі до утвору тріщин. У дрібних і середніх виливниць грані звичайно виконують плоскими, а у великих досить часто рекомендують опуклу форму грані.

На практиці досить часто вживаються також виливниці із хвилястою внутрішньою поверхнею. Така форма виливниці має досить більшу поверхню охолодження, внаслідок чого забезпечується формування більш товстої й міцної коркової зони злитка. Що утворюється між двома сусідніми хвилями виливниці початкова скоринка злитка добре протистоїть тиску рідкого металу, тому що працює як балка, що лежить на двох опорах. Крім того, хвиляста поверхня сприяє більш рівномірному розподілу навантажень, що виникають при затвердінні й усадці сталі в початковий період кристалізації. Основним недоліком виливниць із хвилястою поверхнею, очевидно, слід уважати відносно швидке руйнування (зношування) виступаючих усередину виливниці ділянок стінки.

Для захвату виливниць при роботі й транспортуванні на їх тілі є різні пристосування, що дозволяє класифікувати виливниці також і за цією ознакою. Дрібні й середні наскрізні виливниці найчастіше виготовляють із вушками або спеціальними припливами, а глуходонні – зі сталевими цапфами. Великі виливниці звичайно відливають зі спеціальними припливами (вухами) або литими цапфами.

Для прикладу на рисунку 1.1 наведений ескіз, розміри й деякі технічні характеристики чавунної виливниці типу К-5 для злитка колісної сталі. Маса виливниці, т - 5, маса злитка, т - 3,645, відношення  $M_{вил}/M_{злит}$  - 1,3, максимальна стійкість, наливів – 116, середня стійкість – 76, питома витрата, кг/т - 11,9





Тріщини другого роду виникають на внутрішній (більш нагрітої) поверхні виливниці після досить великої кількості наливів ( кілька десятків). Причиною утвору тріщин другого роду є навантаження, що розростаються внаслідок перепаду температур між осью зоною стінки виливниці й внутрішньою поверхнею. Після видалення злитка температура глибинних шарів вище поверхневих на 40...60 °З. У зв'язку із цим на внутрішній поверхні виникають розтягувальні напруги, що приводять до тріщин другого роду [2]. На відміну від тріщин першого роду ці тріщини формуються й ростуть у розмірах протягом значного числа наливів. Тріщини другого роду також можуть бути як поздовжніми, так і поперечними.

Тріщини третього роду звичайно зв'язують із широко відомим явищем появи «сітки розпалу». Вони являють собою систему дрібних по-різному орієнтованих тріщин, що утворюються на внутрішній поверхні, після значного числа однобічних нагрівів. Сітка розпалу спостерігається не тільки у виливниць, але також у валків гарячої прокатки, мульд, металоформ для відцентрового лиття та ін. Імовірно, основною причиною виникнення сітки розпалу слід уважати циклічно мінливі розтягувальні й стискаючі напруги в сукупності з розвитком явища росту чавуну і його окиснення. Відбраковування виливниць по цьому виду дефектів здійснюють із міркувань забезпечення необхідного якості поверхні злитка.

Представляється доцільним для характеристики експлуатаційних дефектів на робочій поверхні виливниць користуватися наступними визначеннями:

- сітка розпалу - тріщини, що утворюються в різних напрямках на поверхні виливниці при багаторазовому її використанні;
- вигар - поглиблення з окисненою поверхнею, що утворюється внаслідок викрашування гнізд сітки розпалу;
- зрив робочого шару - поглиблення з окисненою зернистою поверхнею, що утворюється при добуванні з виливниці злитка, що приварився;
- розмив стінки, дна - поглиблення, що утворюється на робочій поверхні виливниці в результаті прямого впливу струменя, що розливається сталі.

Крім різного роду тріщин у процесі експлуатації виливниць може спостерігатися їхнє жолоблення, яке є, головним чином, результатом пластичних деформацій матеріалу під впливом термічних і експлуатаційних навантажень. Як правило, жолоблення супроводжується витріщанням стінок виливниць, що слід розглядати як необоротну зміну розмірів виливниці й геометрії злитка. Опуклість стінок утворюється внаслідок того, що внутрішні шари металу стінок нагріваються до високої температури й прагнуть розширитися. Цьому процесу перешкоджають зовнішні, більш холодні шари стінки виливниці. У цьому випадку пластична деформація матеріалу виливниці спрямована усередину, тому що в цьому напрямку відсутній опір деформації. Певний вплив на процес жолоблення виливниць може виявляти також і ріст чавуну.

Крім експлуатаційних, в виливницях спостерігаються й ливарні дефекти. Чомусь мало хто говорить про такі, на перший погляд, незначних впливах на роботу поверхню виливниць при їхньому виробництві, як:

1. Утворення мікротріщин на робочій частині поверхні виливниці. На початку процесу кристалізації, у формі навколо стрижня утворюється тонка кірка металу. Подальша кристалізація стінок виливка і її об'ємна усадка, при високій твердості стрижня, приводять до мікро розривам затверділої кірки, або значним напругам у її поверхневому шарі.
2. Порушення поверхневого шару робочої частини виливка в процесі вибивки форми. При очищенні виливка від залишків формувальної суміші, пригарів, напливів часто використовується механічне очищення поверхні. Як відомо, поверхневий шар виливка формується в перший період заливання форми при контакті рідкого металу з холодними стінками форми й стрижня, і є найміцнішим. Змушене механічне очищення виливка веде до місцевого видалення поверхневого шару, появі всіляких ушкоджень робочої поверхні.

Крім того, газові виділення матеріалу форми й стрижня при заливанні металу, приводять до утвору раковин, пористості, включень, що порушують цілісність поверхневого шару виливка, що, при експлуатації виливниць, створює перешкоди при добуванні з неї сталевих злитків.

Циклічні повторення термічних впливів на виливницю приводять, до прискореного розвитку мікротріщин у сітку розпалу, до утвору поздовжніх і поперечних тріщин, до того ж, і місцеве руйнування робочого шару виливниці й дефекти, пов'язані з газовиділенням форми зі стрижнем, впливають на її міцність, суттєво знижуючи її стійкість від інших негативних впливів у процесі експлуатації виливниці.

Ще однієї не маловажною причиною утвору тріщин у верхній частині виливниць, є існуючі способи заливання металу у відкриту форму, де чавун виходить із більш низькими механічними характеристиками.

Перераховані вище причини виникнення дефектів так чи інакше присутні практично на кожному з підприємств із виправленням на їхні конкретні умови виробництва.

### **1.3 Проектування виливниць**

#### **1.3.1 Основні принципи**

Основною метою проектування виливниць є створення її технологічної конструктивної геометричної форми, відповідної до вимог, пропонованих до злитків, що й забезпечує оптимальну стійкість за умови раціонального вибору матеріалу. При цьому слід мати на увазі, що стійкість виливниці залежить не тільки від її конструкції й умов експлуатації, але також і від конструкції злитка. Отже, при розробці нових геометричних параметрів злитків доцільно

					КНУ РМ.136.24.544с-04.01 АВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

також брати до уваги загальні закономірності впливу форми злитка на стійкість виливниць.

Під проектуванням виливниць звичайно розуміють розробку зовнішніх і внутрішніх її форм і розмірів у сукупності з обґрунтуванням вибору матеріалу виливниці і його фізико-механічних властивостей. У цілому основні принципи конструювання виливниць полягають у наступному:

- конструкція виливниць повинна сприяти підвищенню строку їх служби й зниженню витрати чавуну на тонну розливаємої сталі;
- конструкція виливниці повинна бути технологічною з боку її виробництва в умовах конкретного ливарного цеху;
- матеріал для виливниць повинен забезпечувати найбільш оптимальні умови їх експлуатації з погляду характеристик міцності, теплообмінних процесів, що відбуваються при розливанні сталі й охолодженні злитка, а також схильності матеріалу до руйнувань різного роду в процесі експлуатації виливниці та ін.;
- виливниці повинні бути зручні в експлуатації: забезпечувати швидке роздягання злитків і відповідати відповідним до показників нагрівальних колодязів і сполученого прокатного встаткування;

Враховуючи той факт, що останній пункт входить у компетенцію сталеплавильників і прокатників, і більше пов'язаний з конструюванням злитка, завдання проектування виливниць для ливарів містить у собі наступні основні питання: вибір оптимального матеріалу виливниці; визначення товщини стінки виливниць; розробка зовнішнього конструктивного оформлення, що включає визначення форми поздовжнього й поперечного перерізів стінок, конструювання цапф, транспортних вух та ін.

### 1.3.2 Геометричні розміри виливниць

Питанню визначення оптимальної товщини стінок виливниць присвячено безліч досліджень. Це пояснюється прагненням створити умови для одержання максимальної стійкості виливниць і найбільш швидке затвердіння злитків, тому що якість литого металу найбільшою мірою залежить від хімічної однорідності, яка обумовлена ліквациєю домішок, і за інших рівних умов, значно залежить від швидкості затвердіння металу в виливниці.

Донедавна вважалося, що чим більше товщина стінок виливниці, тим більше швидкість затвердіння злитків [3]. Однак дослідження останніх років переконливо доводять, що збільшення товщини стінок виливниці цілеспрямовано лише до деякої величини, подальше ж збільшення її на зростання швидкості затвердіння злитків впливає незначно.

Так, Скороходів Н. Е., у результаті проведеного їм дослідження, показав, як змінюється швидкість затвердіння 6-ти тонного вилівка в виливницях різної товщини [4]. У зазначеній роботі злитки відливали в виливниці однакові по ємності й типу, але з різною товщиною стінок (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

					КНУ РМ.136.24.544с-04.01 АВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		



виливноїцею становить 10 %; у тонкостінній виливниці за 60 хвилин акумулююча здатність вичерпується на 100 %, однак частка випромінюваного тепла, сприйманої цієї виливноїцею від охолоджуваного металу, буде більшою, ніж для товстостінної виливниці.

У тонкостінній виливниці менші температурні перепади між внутрішньою й зовнішньою поверхнею, ніж в товстостінній, що сприяє підвищенню стійкості тонкостінних виливниць.

Збільшення товщини стінок виливниці приводить до збільшення їх ваги, внаслідок чого втрата виливниць на одиницю сталі в злитках зростає. При цьому також можливо зменшення стійкості виливниць, тому що зі збільшенням товщини стінок перепад температур між внутрішньою й зовнішньою поверхнею зростає, як при затвердінні в ній злитка, так і при її охолодженні. Збільшення перепаду температур приводить до підвищення термічних навантажень, що сприяє утвору тріщин на робочій поверхні виливниць.

Таким чином, виливниці слід робити тонкостінними, ухвалюючи при конструюванні товщину стінок, рівної 0,15...0,20 середньої ширини злитка, при цьому нижня межа 0,15 для злитків вагою більш 7 тон, верхній - 0,20 для злитків вагою менш 2 тон [5]. При виборі товщини стінок слід керуватися також конструктивними міркуваннями механічної міцності й стійкості виливниць. При дотриманні зазначених умов вибору товщини стінок і дна виливниць, їхня загальна вага, стосовно ваги злитків, що відливаються, буде становити 0,9...1,1. В виливниці без дна злитків, що призначаються для лиття киплячої сталі, це відношення буде рівно приблизно 0,7...0,9.

При конструюванні виливниць слід приділяти особливу увагу формі й розмірам порожнини для виливання злитків. Надалі, для зручності викладу, замість розмірів порожнини виливниць слід розглядати вагу й габаритні розміри злитків.

Надмірне збільшення висоти злитків, при незмінній ширині, негативно впливає на їхню якість. Так наприклад, значне збільшення висоти злитків, що розливаються зверху, сприяє збільшенню розбризкування сталі при наповненні виливниць, що, у свою чергу, приводить до збільшення кількості плівок і підкіркових міхурів на поверхні злитків. Збільшення висоти злитків спокійної сталі викликає також погіршення внутрішньої будови злитків внаслідок розвитку усадочної рихлості. При збільшенні висоти злитків спокійної сталі, що розливається сифонним способом, збільшується тривалість наповнення виливниць, внаслідок чого підсилюється охолодження відкритої поверхні металу, що піднімається в виливниці при розливанні, що приводить до утвору на ній твердої окисненої "скоринки" і до заворотів її.

Збільшення висоти злитка киплячої сталі, при незмінній ширині, його, погіршує кипіння сталі в виливниці, тому що при цьому підвищується феростатичний тиск у злитку, що утрудняє зародження й спливання пухирців газу [4].

З іншого боку, збільшення поперечних розмірів виливниць, при незмінній висоті їх, як у злитків киплячої сталі, так і злитків спокійної сталі

					КНУ РМ.136.24.544с-04.01 АВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

приводить до збільшення циклу, а також сприяє більшому розвитку хімічної неоднорідності, у результаті збільшення маси злитка й часу його кристалізації. Надмірне збільшення товщини злитків різко знижує продуктивність обтискних станів. При виборі товщини злитка необхідно також урахувувати можливість захвату його кліщами стріперного крана.

З урахуванням вищесказаного при проектуванні виливниць для сталевих злитків застосовують наступні відносини висоти до середньої ширини у верху злитка: при вазі злитка до 1 т - 5; від 1 т до 5 т - 4; понад 5 т - 2,5...3.

Більш докладна методика визначення співвідношення висоти злитка до його середнього діаметра наведена в роботі [6]. Згідно даним цієї роботи для запобігання формування усадочної осьовий рихлості відношення Н/Д повинне становити не більш 0,9...1 (для забезпечення спрямованості затвердіння конусність злитка в цьому випадку задавати не потрібно, обмежившись лише технологічним нахилом для полегшення добування злитка з виливниці); при більших значеннях цього критерію необхідно задавати конусність злитка  $K = (D_{\text{верх}} - D_{\text{низ}}) \cdot H_{\text{сл}} \cdot 100 = 15...16 \%$ .

Виливниці, застосовувані для виливу злитків, призначених для прокатки, роблять звичайно квадратного або прямокутного перетину. Кути внутрішнього контуру виливниці закруглюються, при цьому значно збільшувати радіус закруглень не припустиме, тому що в цьому випадку форма злитка наближається до циліндричної, у якої, внаслідок найменшої поверхні для даного обсягу злитка, тангенціальні напруги в тверднущому шарі досягають найбільшого значення, що збільшує схильність до утвору на поверхні злитка поздовжніх тріщин. При малому радіусі закруглень також з'являється можливість утвору поздовжніх тріщин на кутах злитка внаслідок того, що площини слабини, які утворюються на стику зон транскристалізації, що ростуть від суміжних граней, будуть перебувати дуже близько від поверхні. Таким чином, необхідно вибирати оптимальний радіус закруглень, при якому схильність до утвору поздовжніх тріщин буде найменшою.

Оптимальним радіусом закруглень кутів чотиригранних виливниць слід уважати за даними роботи [5] радіус, рівний 10...12 % середньої ширини злитка.

У цей час на металургійних заводах застосовуються прямокутні виливниці, що мають різноманітну форму внутрішніх граней: (прямі, увігнуті усередину виливниці й хвилясті).

З вищесказаного можна зробити наступний висновок: Визначення товщини стінки виливниці аналітичними розрахунковими методами в цей час є вкрай складним завданням. Такого роду методики вимагають наявності великої кількості експериментальних даних за умовами роботи виливниць, ступені однорідності матеріалу в стінці виливниці, загальної характеристики фізико-механічних властивостей матеріалу в області робочих температур та ін. Усі ці величини залежать від великої кількості факторів, що не піддаються повному обліку. Крім того, не можна вважати досить очевидними й безперечними критерії, які окремі дослідники оговорюють у частині показників, що забезпечують стійкість виливниці в ході експлуатації. Ці

					КНУ РМ.136.24.544с-04.01 АВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

міркування можна, наприклад, висловити до критерію «термоурівноважена виливниця», який у різних авторів трактується по-різному.

Тому на практиці найбільше поширення одержали наближені методи, що дозволяють по експериментальних залежностях з достатнім ступенем точності визначати оптимальну товщину стінки й потім коректувати результати розрахунків безпосередньо в процесі експлуатації виливниць.

Досить широко на практиці застосовують метод розрахунків, заснований на використанні відносини маси виливниці й маси злитка. Відношення маси виливниці до маси злитка для більшості заводів України й Росії становить приблизно 1,0-1,2. В останні роки відзначається тенденція до зменшення величини цього співвідношення. Наведене співвідношення може значно змінюватися для виливниць, у яких одержують злитки для спеціальних видів продукції (наприклад, трубні, колісні, ковальські та ін. злитки).

Розрахована товщина стінки надалі ухвалюється в якості середнього значення (з можливою корекцією цієї величини залежно від конкретних умов), на підставі якого задають товщини стінок по висоті й перетину виливниці. Фактично товщина стінок збільшується донизу рівномірно по всій висоті й становить у розширених донизу виливницях угорі 0,90-0,95 і внизу 1,05-1,10 середньої товщини, у розширених догори - відповідно 0,85-0,90 і 1,10-1,15. Виходячи із принципу термічної врівноваженості виливниці в процесі охолодження злитка, рекомендується збільшувати товщину стінки в місцях їх найбільшого розігріву. При цьому форма стовщення повинна бути строго витримана, а перехід до стовщень повинен бути плавним.

Слід мати на увазі, що можливості конструктивних змін при проектуванні виливниць досить обмежені наступними факторами:

- залежність геометрії внутрішньої поверхні виливниці від вимог, пропонованих з боку обтискних станів;
- неможливість повної оптимізації товщини стінок виливниці в силу того, що той самий типорозмір використовується для багатьох марок сталей з різними фізичними й теплофізичними властивостями;
- необхідність проведення (у випадку зміни конструкції) додаткових трудомістких спостережень по оцінці ефективності внесених коректив;
- додаткові витрати на ливарне оснащення, пов'язані зі зміною конструкції виливниці.

## 1.4 Технологія виробництва виливниць

### 1.4.1 Оснащення для відливання виливниць

Проектування модельно-опочного оснащення для лиття виливниць передбачає облік цілої сукупності технологічних факторів. До них можна віднести технологію формування, геометричні розміри виливниці, кількість виливниць даного типу, що передбачається відлити за допомогою виготовленого оснащення, можливість виготовлення чавунних, сталевих і зварених деталей оснащення на заводі-виробнику виливниць і т.п. Звичайно

					КНУ РМ.136.24.544с-04.01 АВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

для кожного типорозміру виливниць готують окремий комплект оснащення. Така спеціалізація зменшує витрати труда при формуванні й створює певні зручності в роботі. При виготовленні форм для виливниць малої маси в одній опоці можуть бути поміщено дві моделі.

Крім моделі ящика для центрального стрижня в комплекті оснащення повинні бути передбачені дрібні стрижневі ящики для формування отвору під пробку й сфери дна у глухонних виливницях, для формування вух, маркування тощо, а також шаблони для перевірки розмірів, форми й правильності установки стрижнів. Як показує практика, найбільш доцільно виготовляти модельне оснащення з литих або зварених елементів з механічною обробкою.

У цілому ж вибір типу модельного оснащення багато в чому залежить від технології, прийнятої в даному ливарному цеху, організації праці, економічних міркувань і т.п.

Більшість ливарних цехів відливають виливниці в сухі разові піщано-глинисті форми. При литті в разових формах забезпечується більш рівномірна макро- і мікроструктура чавуну в стінках виливниці й менша різностінність. При формуванні виливниці звичайно застосовують чисту модель.

Опочне оснащення для формування виливниць виготовляють таким чином, щоб при мінімальному обсязі формувальної суміші, що набивається, можливо було забезпечити достатню міцність форм і стрижнів, а також гарне взаємне центрування окремих частин форми. Питання про товщину шару формувальної суміші слід вирішувати залежно від розміру виливниці й прийнятої технології. Занадто тонкий шар формувальної суміші приводить до перегріву оснащення, що може служити причиною прориву чавуну з форми й обвалу «земляної шуби». Збільшення ж цього шару, відповідно, вимагає збільшення витрати формувальної суміші й додаткових витрат роботи при формуванні. Оптимальні розміри шару слід визначати на основі практичних даних.

При разових формах комплект опочного оснащення складається з піддона, протяжної рамки, середньої опоки (кожуха) і верхньої опоки. Піддон являє собою масивну плиту, що служить підставою для центрального стрижня й опорою при складанні форми. Протяжну рамку застосовують для запобігання обвалів формувальної суміші в нижньому торці опоки. Протяжна рамка при складанні форми щільно прилягає до піддона й торцю середньої опоки. Середня опока є найдорожчою частиною оснащення. Висота цієї опоки звичайно дорівнює висоті виливниці з урахуванням усадки чавуну й відрахуванням товщини протяжної рамки. В окремих випадках застосовують середню опоку, що полягає із двох опок, що з'єднуються разом. Зазвичай середні опоки мають вертикальне рознімання. Наявність вертикального рознімання дозволяє зберегти «земляну шубу». Верхню опоку застосовують для забезпечення якісної поверхні дна або верхніх торців виливниць.

Перед початком виготовлення форми на піддони кладуть сталеву стругану протяжну рамку товщиною 80...100 мм і центрують по штирях. Потім по штирях установлюють середню опоку скріплення середньої опоки із

					КНУ РМ.136.24.544с-04.01 АВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		



протяжною рамкою здійснюють чотирма кутими скобами або клиновим затягуванням. В одному з кутів середньої опоки у вертикальному положенні встановлюють модель стояка, нижній кінець якого перебувати приблизно на 60 мм вище протяжної рамки.

Для набивання форми й стрижня застосовують єдину формувальну суміш, яка надходить рівномірно з рухливих транспортерів. Суміш ущільнюють пневматичними трамбуваннями, піскометами або заливанням ЖСС. У процесі набивання на відповідних рівнях установлюють моделі живильників. Після закінчення набивання середньої опоки приступають до ущільнення основного стрижня з тієї ж формувальної суміші. Для зміцнення стрижня в процесі його набивання укладають тверді рамки із дроту діаметром 6 мм. Звичайно ставлять 6...7 рамок рівномірно по висоті.

Після закінчення набивання форм і стрижня середню частину форми знімають разом із протяжною рамкою й видаляють чисту модель. Останню операцію проводять у строго вертикальному напрямку, щоб моделлю не зруйнувати стрижень. Потім приступають до набивання нижньої опоки (піддона) і обробці всієї форми. Щільність набивання по твердоміру повинна бути для форм 80...85 од. і для основного стрижня 80...90 од.

Форми й стрижні фарбують пульверизатором, товщина шару фарби 2...3 мм. Після фарбування середню частину форми (кожух) ставлять на піддон таким чином, щоб вийшла щілина для проходу газів при сушінні. Досягається це за допомогою спеціальних підбивок. Підготовлений комплект підсушують: тривалість сушіння в середньому становить 8 годин. Глибина підсушеного шару формувальної суміші для форм і стрижнів повинна бути не менше 50...60 мм.

Просушені форми збирають у заливальному кесоні або на конвеєрі. Кожух форм установлюють на піддоні по штирях. Кріплення кожуха з піддоном здійснюють скобами. Живильник і ливниковий хід продувають стисненим повітрям. Поверхня верхньої опоки (кокілю), що стикається з виливком, покривають фарбою щільністю 1,05...1,1 кг/м<sup>3</sup>. Потім верхню опоку (кокіль) установлюють на середню опоку й кріплять скобами. У верхній частині форми набивають ливникову вирву для заливання чавуну й випори для виходу газів. Для підвищення міцності виливниць при зборі форм установлюють бандажі в нижню, а для деяких типорозмірів і у верхню частину форми. Заливання здійснюють за допомогою поворотного або стопорного ковша при використанні чавуну доменної плавки.

Така технологія виготовлення форм виливниць характерна в основному для спеціалізованих цехів.

#### 1.4.2 Особливості лиття виливниць

Форми виливниць заливають за допомогою поворотних і стопорних ковшів. Вибір ковша роблять із урахуванням особливостей виробництва на даному підприємстві. Стопорні ковші звичайно застосовують при заливанні

					КНУ РМ.136.24.544с-04.01 АВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

форм чавуном першої (доменної) плавки. Певне значення при заливанні має контроль температури чавуну. На більшості заводів рекомендують температуру чавуну при заливанні форм на рівні 1200-1250 °С.

Для великих виливниць застосовують три види підведення металу: сифонний знизу, зверху або комбінований. Сифонний спосіб передбачає підведення рідкого чавуну зі стояка до виливка знизу тангенціально або в торець. Основним недоліком цього способу є те, що плівка, що утворюється на дзеркалі чавуну, окислів і неметалічних включень може прилипати до стінок форми, а також стрижня й затримувати рух чавуну нагору. Надалі під напором рідкого чавуну плівка проривається, і на робочій частині виливниці можуть утворювати завороти й спаї. При заливанні зверху за допомогою ливникової чаші й живильників (круглих і прямокутних) створюються гарні умови для спрямованого затвердіння, що сприяє одержанню щільного виливка. Гарячі порції чавуну, що падають зверху, руйнують плівку, що утворюється на дзеркалі, окислів і неметалічних включень, не утрудняють видалення газів, створюють постійну лінійну швидкість підйому металу. Тим часом, недоліком такого способу заливання слід уважати можливість руйнування стінок форм за рахунок динамічного удару струменя металу, що падає з великої висоти.

Охолодження виливниць після заливання має велике значення для їхньої стійкості в процесі експлуатації. При швидкому охолодженні на повітрі, особливо в зимовий час і на протягах, в виливницях утворюються сильні внутрішні напруження й навіть тріщини, а також створюються умови для формування небажаних (несприятливих) кристалічних структур. На практиці звичайно після заливання зібрана форма перебуває в нерухливому стані доти, поки не затвердіє шар чавуну такої товщини, щоб можна було робити з формою необхідні технологічні операції, не побоюючись прориву рідкого металу. Час від початку заливання до видалення каркаса залежить від швидкості затвердіння кірки металу й становить від 3 до 9 годин. Після того, як каркас стрижня вилучений, необхідно створити умови для рівномірного вповільненого остигання відливої виливниці. Найчастіше вповільнене охолодження досягається шляхом залишення на виливниці після зняття середньої опоки шару формувальної суміші («шуби»).

Після остигання виливниці піддають вибивці й обрубанню. При цьому основну масу суміші вдається вилучити на спеціальних вібростендах (віброрешітках). Обрубку виливниць звичайно роблять пневматичними зубилами, а обточування поверхонь – абразивними колами.

Малопотужні ливарні цехи, випробовуючи недолік формувальних площ і сушильних засобів, тому виливниці відливають у напівпостійних формах. Перевага цього методу є те, що в одній формі можна одержувати до 50 виливків. Основними недоліками напівпостійних форм є важкі умови праці формувальників, пов'язані з ремонтом гарячих форм, а також нерівномірність остигання залитої виливниці, тому що теплопровідність напівпостійної форми (кожуха) і стрижня різні. Це приводить до появи різнорідних структур у стінках виливниць через впливи ребер і фланців напівпостійної опоки на

					КНУ РМ.136.24.544с-04.01 АВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

швидкість кристалізації металу. При цьому неможливо також витримати точні розміри виливниці, особливо товщину стінок. Зазначені недоліки напівпостійних форм показують, що застосовувати цей метод, особливо для лиття великих виливниць, недоцільно.

Є досвід з лиття чавунних виливниць у кокілях з обмазкою. Оснащення складається з піддона, двох боковин (кожухів) і верху. Наявність достатня великого шару обмазки (20...25 мм) на внутрішній поверхні окремих частин кокільної форми сповільнює охолодження виливниць, що сприятливо впливає на їхню стійкість.

Основними умовами, що забезпечують високу економічну ефективність централізованого виробництва виливниць, слід зазначити:

- потокове конвеєрне виробництво, що дозволяє механізувати й автоматизувати процеси заливання, сушіння й остигання форм; виключити багато транспортних операцій;
- застосування піскометального формування й рідких самотверднучих сумішей, що забезпечує механізацію й підвищення виробництва
- використання уніфікованої технологічної модельно-опочного оснащення, що дозволяє механізувати допоміжні операції;
- можливість заміни чавуну ваграночної плавки рідким передільним чавуном, що подається безпосередньо з доменної печі;
- створення нового спеціального обладнання для механізації й автоматизації всіх трудомістких і допоміжних операцій. Крім того, у спеціалізованих цехах по виробництві виливниць суттєво поліпшуються санітарно-гігієнічні умови праці.

## 2 Аналіз стійкості виливниць

### 2.1 Вплив різних факторів на стійкість виливниць

Видатковий коефіцієнт виливниць на 1 тонну сталі на різних комбінатах становить у середньому 10...20 кг/т, наприклад, на комбінаті "АМКР" для різних виливниць він становить: КС-8п - 11кг/т сталі, МКС-12,5 - 12,7кг/т сталі, З - 9...30кг/т сталі, МС - 12...22кг/т сталі.

Виливниці виходять із експлуатації в результаті утвору поздовжніх і поперечних тріщин, розпалу внутрішньої поверхні, механічних ушкоджень. Вивчення причин руйнування виливниць і аналіз промислових даних, показує, що перераховані причини характерні для всіх заводів. Різниця полягає лише в переважному впливі тих або інших факторів, що пов'язане з конкретними умовами на кожному підприємстві. На стійкість виливниць впливає велика кількість факторів, основними з яких є:

- фізичні й механічні властивості чавуну;
- хімічний склад чавуну;
- макро й мікроструктура чавуну;
- технологія виготовлення виливниць;
- умови експлуатації виливниць;
- конструкція виливниць;
- марка сталі, що розливається в виливниці.

Під дією рідкої сталі, що рухається, у випадку прямого влучення струменя на стінку відбувається розмив внутрішньої поверхні виливниці. Циркуляційні потоки в рідкій сталі, що викликають нерівномірне нагрівання робочої поверхні виливниць, залежать від способу розливання. При сифонному розливанні зона інтенсивної циркуляції розташовується в нижній частині виливниці. Інтенсивна циркуляція затримує утвори зазору в нижній частині виливниці, гальмує усадку сталі й сприяє більш високому нагріванню внутрішніх стінок виливниці, що сприяє появі найбільш ранньої стадії сітки розпалу.

При розливанні зверху, зона інтенсивної циркуляції сталі переміщається послідовно знизу нагору, тепло, що поглинається стінкою виливниці, розподіляється рівномірно по висоті, що приводить до більш пізньої й рівномірної появи сітки розпалу по висоті виливниці.

Максимальний феростатичний тиск у цьому випадку сприймається більш міцною скоринкою злитка, що утворюється значно раніше, ніж при сифонному розливанні. При розливанні зверху також можливі опіки (оплавлення) на стінках виливниці, якщо струмінь металу, що заливається,

					КНУ РМ.136.24.544с-04.02 АС			
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Аналіз стійкості виливниць</b>	Лит	Лист	Листов
Разраб.		Зайцев В.С.						
Пров.		Сайтгареев Л.Н						
Т. контр.								
Н. контр.		Сайтгареев Л.Н						
Утв.		Савельев С.Г.				ЛВ-23м		

момент прожигу або при відкритті (закритті) шибера, частково попадала на стінку виливниці.

Неточне центрування струменя часто приводить до приварку злитка до виливниці, у деяких випадках настільки міцної, що злитки практично неможливо витягти й тому виливницю доводиться розбивати. Для боротьби із приварами й плівками розливання сталі зверху слід починати плавним, але досить швидким відкриттям шибера до одержання повного струменя, що забезпечує підйом металу в виливниці зі швидкістю 0,6...0,7м/хв.

Перехід від розливання пригальмованим струменем на максимальну швидкість наповнення повинен відбуватися не ривками, а дуже плавно, тому що температура поверхні піддона в цей період досягає свого максимального значення. Крім раціонального режиму розливання необхідно застосовувати спеціальні матеріали змащення перешкоджаючі приварюванню злитка до виливниці й загальмувати появу сітки розпалу.

На ПАО "АМКР" через сітку розпалу й вигари, виходить із ладу виливниці типу КС-8п - 80,6 %, МКС-12,5 - 77,9 %, 3-9 - 51,5 %, МС-12 - 31,8 %. Через приварювання злитка, розмиву дна, стін виходить із ладу виливниць типу КС-8п - 1,4 %, МКС - 0,7 %, 3-9 - 18 %, МС-12 - 17,1 %, що викликано, поряд з недостатньою міцністю чавуну через відсутність його модифікування як в обсязі, так і в поверхневому робочому шарі наступними причинами:

- експлуатаційною напругою, пов'язаним з температурою виливниці й температурою сталі, що розливається;
- часом витримки металу в виливниці;
- напругами, викликаними гальмуванням усадки злитка в виливниці.

Так відомо [7, 8], що чим вище ливарна напруга, тим більше значення одержують експлуатаційні напруги, особливо на перших 10...15 наливах, тому на перших наливах необхідно прагнути по можливості не допускати під розливання виливниці з температурою нижче 50 °С.

Численні дослідження в області підвищення стійкості виливниць присвячені, головним чином, питанням, пов'язаним з утвором наскрізних тріщин. Шляхи запобігання цих дефектів визначені досить чітко. Однак за рахунок підвищення тріщиностійкості виливниць не можна повністю розв'язати проблему зниження їх витрати.

Характерними причинами відбраковування виливниць на багатьох заводах у цей час є приварювання злитків, сітка розпалу й вигари [9]. Так за даними роботи [10] слід розрізнити два види приварювання:

- приварювання на ранніх етапах експлуатації, що виникає в результаті зсуву струменя, підвищеної температури, що розливається сталі й високої початкової температури виливниць;
- пізніше приварювання, "заклинювання злитка", що відбувається в результаті проникнення рідкої сталі в тріщини сітки розпалу.

## 2.2 Вплив підготовки виливниць до розливання

Якість поверхні злитка значною мірою залежить від стану внутрішньої поверхні виливниці. Незадовільно очищені й змазані виливниці, служать причиною виникнення підкіркових міхурів і місцевих тріщин, на поверхні злитків, що крім цього, зменшує стійкість виливниць [5].

Якісна й продуктивна підготовка виливниць, їхнє чищення й змащення може бути досягнута тільки шляхом комплексної механізації цих робіт, які виконуються в спеціальних відділеннях, куди виливниці надходять після охолодження.

Чищення виливниць, як правило, роблять у спеціальному відділенні, де сполучено дві операції - чищення й змащення. Виливниці з відділення роздягання злитків подаються на шляху відстоювання для їхнього охолодження на повітрі. Після охолодження до необхідної температури (90...120 °С) виливниці надходять у відділення чищення. У відділенні чищення встановлений рейковий штовхач, за допомогою якого проводиться пересування візків з виливницями.

Машина чищення змонтована на пересувному візку. На візку встановлені механізм пересування й механізм підйому штанги. Штанга виконана у вигляді зубчастої рейки, у нижній частині якої закріплені металеві щітки. Щітки являють собою дві металеві пластини, між якими закріплені мірні обрізки сталевого каната. Чищення виливниць проводиться шляхом пересування штанги у вертикальній площині по внутрішній поверхні виливниці.

Шар металу, що утворювався на верхньому торці виливниці в результаті патьоку шибєрного затвора при переїзді сталерозливного ковша з виливниці на виливницю, віддаляється у відділенні підготовки складів за допомогою кранів спеціальним шкребок.

Виливниці, після "аварійних плавок" (підтік металу між плитами, розливання холодних плавок із прожигом, не криє шибєр тощо) із залитими торцями викладають на спеціальному майданчику для видалення настилів за допомогою вогневого різання. Виливниці з жужільними поясами зазнають чищення у відділенні підготовки складів на стаціонарному йоржі. Стаціонарний йорж являє собою металеву плиту, вагу якої дорівнює ваги виливниці, у якій установлений квадратний стрижень. Висота стрижня відповідає висоті виливниці. На стрижні встановлено три металеві щітки. Очищення виливниць на стаціонарному йоржі роблять за допомогою електромостового крана.

Після очищення виливниць роблять їхнє змащення. Відділення змащення складається з рейкового штовхача, аналогічного як у відділенні чищення, пересувного візка і ємності з розчином для фарбування. Візок складається з механізму її пересування й механізму підйому штанги. Штанга виконана у вигляді труби, усередині якої розташовані трубопроводи подачі розчину й стисненого повітря. У нижній частині штанги трубопровід з'єднаний



## 2.3 Вплив поверхневого модифікування й легування

Серед відомих способів поліпшення структури в робочому шарі виливків найбільш підходящим для виливниць є поверхневе модифікування й легування. У якості легуючих компонентів у складі активних фарб для стрижнів виливниць випробувані телур, ферохром і різні з'єднання на основі бору. При виборі цих компонентів передбачалося підвищити окалиностійкість чавуну в робочому шарі виливниць. У структурі поверхневого шару спостерігалось здрібнювання й утвор окремих включень карбідів.

Активні складові фарб у цьому випадку відіграють роль і модифікаторів, що й легують елементи. Заміна частини графіту в робочому шарі карбідами підвищує термостійкість у результаті затримки окиснення, що розростається по графітовим включенням. Розкладання карбідів у процесі охолодження виливка у формі й при експлуатації сприяє ущільненню чавуну [13].

У роботі [14] проведене докладне дослідження впливу обмазки виливниць на їхню стійкість. Виливницю відливали по стрижню, який після коксо-графітової фарби покривали шаром ферохрому. Після 10 наливів з неї висвердлювали кернові проби. У структурі поверхневого шару ще зберігалися карбіди хрому. Однак на одній ділянці, там, де відсутні карбіди, уже добре помітне окиснення. На ділянці з перлитно-карбідною структурою чавун практично не окиснений, тобто карбіди хрому сповільнюють процес окиснення чавуну.

Поверхневе модифікування й легування суттєво впливає на формування структури чавуну в поверхневому шарі виливниць, і сприяє підвищенню стійкості на 14...33 %. За даними досліджень [15], більш технологічним є модифікування борною кислотою. Товщина поліпшеного шару при використанні борної кислоти коливається в межах 5...10 мм. В виливницях з доменного чавуну в цьому шарі графіт розташовується у вигляді окремих включень, а при звичайних умовах кристалізації - у вигляді мало ізольованих колоній. Більше здрібнювання графітових включень спостерігається у ваграночному чавуні.

Поверхневе модифікування й легування ефективно для затримки процесу розвитку сітки розпалу й для підвищення стійкості виливниць проти заклинювання злитків. Стійкість промислової партії виливниць із поліпшеною структурою робочого шару на 11...14 % вище, ніж у звичайних.

## 2.4 Вплив часу перебування металу в виливниці

Як показали дослідження в роботі [16], затримка роздягання злитка викликає термічну утому через ріст чавуну, що приводить до зміни структури матеріалу виливниці до більш ранньої появи сітки розпалу з відповідним зниженням її стійкості. Значне підвищення стійкості виливниць може бути досягнуте шляхом зниження максимальних температур, що досягаються в тілі виливниць і скорочення часу перебування виливниці при максимальних



температурах. Цим способом не можна усунути переродження структури чавуну виливниці, але воно може бути вповільнене з підвищенням її стійкості.

Пор даним роботи [17] між стійкістю виливниць і часом знаходження в ній злитка існує залежність:

$$A = A_0 \cdot K/S; \quad (2.1)$$

де:  $A$  - число наливів (циклів);

$A_0$  - мінімальне число наливів (при як завгодно тривалому перебуванні злитка в виливниці) (рівно 20);

$K$  - коефіцієнт рівний  $\approx 5000$ ;

$S$  - тривалість перебування злитка в виливниці, хв.

Відповідно до вищевказаної залежності отриманою шляхом підвищення тривалості перебування злитка в виливниці  $S$  скорочує припустиме число наливів.

Результати експлуатації виливниць і аналіз їх стійкості показують, що в виливниці, що працює тільки з киплячою й напівспокійною сталлю, сітка розпалу розростається значно повільніше, ніж в виливницях працюючих зі спокійною сталлю, що можна пояснити двома причинами: перша - наскрізна виливниця має менші ливарні напруги ніж глуходонна, і друга - час витримки злитків менше, що підвищує стійкість наскрізних виливниць.

Згідно з технологічною інструкцією по розливанню сталі на АМКР час витримки металу в глуходонних виливницях для спокійної сталі становить 50...110 хвилин, для киплячої й напівспокійної (наскрізні виливниці) становить 30 хвилин.

Стійкість виливниць для спокійних марок сталі в середньому в 2 рази менше ніж виливниць для киплячих і напівспокійних марок сталі.

Стійкість виливниць може бути збільшена за рахунок регламентуванню графіка доставки злитків зі сталеплавильних в обтискні цехи комбінату. Сутність такої регламентації графіка полягає в тому, що для напівспокійних марок сталі зменшують час відстою плавки в розливочному відділенні сталеплавильних цехів комбінату, отже, зменшують час знаходження злитків в виливницях до стриперування. Так, зменшення часу простою на 20 хвилин на ПАО "АМКР" привело до підвищення стійкості виливниць КС-8п на 12 % і МКС-12,5 на 4 %.

У роботі [18] був переглянутий і скорочений графік перебування гарячих злитків в виливницях. За графіком час перебування гарячого злитка в виливниці становило 3,5...4 години. Шляхом теоретичних розрахунків і тривалого спостереження за пересуванням гарячих складів було встановлено, що для злитків масою 3,5 т час витримки гарячих злитків в виливницях без шкоди для якості злитка можна скоротити на 1 годину, тобто до 2,5 ч.

У результаті температура гарячого посаду підвищилася з 715 до 810 °С. При роботі з нового графіка протягом року відзначене поліпшення показників: зниження вигару металу в колодязях блумінга на 0,3 %, підвищення продуктивності колодязів на 0,6 %, скорочення витрати палива на 4 %, підвищення стійкості виливниць на 2...4 наливів, прискорення оборотності

					КНУ РМ.136.24.544с-04.02 АС	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

складів на 8 %, збільшення пропускної здатності розливочного прольоту на 12 %.

## 2.5 Вплив коефіцієнта оборотності виливниць

Однієї з основних експлуатаційних характеристик стійкості виливниць є коефіцієнт оборотності виливниць, який характеризує температурний режим експлуатації виливниць. Фактичний коефіцієнт оборотності виливниць залежить від цілого ряду факторів, основними з яких є:

- маса й конструкції виливниці;
- спосіб охолодження виливниць;
- теплофізичні властивостей чавуну виливниці;
- температура сталі, що розливається;
- тривалість від розливання сталі;
- відстань між поруч стоячими виливницями;
- температура навколишнього повітря;
- кількість типів застосовуваних виливниць, планування виробництва по сортаменту продукції й, відповідно до цього, по типах виливниць;
- забезпеченість змінним устаткуванням, у тому числі: сталерозливними візками, виливницями;
- пропускна здатність ділянок, у тому числі залізничних колій для охолодження складів з виливницями [19].

Технологічна інструкція цеху підготовки складів (ТИ 228 ПС-06-2000 п.3.5.1) регламентує для створення оптимальних умов експлуатації виливниць наступний коефіцієнт по типах виливниць:

- для розширених донизу 1,3...1,4;
- для розширених догори 1,0...1,1.

При збільшенні коефіцієнта оборотності виливниць більше 1,4 або його зниження до 0,9 суттєво зменшується стійкість найбільш масивних виливниць. Це зв'язано, насамперед, з тим, що в них іде нерівномірний прогрів стінок, виникають більші внутрішні напруження [12]. Необхідна кількість виливниць для підтримки оптимального коефіцієнта оборотності залежно від виробництва визначаються по номограмах.

Суттєвим недоліком у роботі металургійних заводів довгий час був факт відсутності або недостатнього урахування стійкості виливниць через складність їх обліку без комп'ютерної техніки. Наявність такого обліку в цей час (з наявністю комп'ютерної техніки) дає можливість ліквідувати передчасне відвантаження виливниць у брак, оперативно вжити заходи до усунення причин передчасного виходу виливниць із ладу й, головне, виконувати аналіз стійкості виливниць (визначати головні фактори, що виявляє вплив на їхню стійкість).

У цей час облік стійкості виливниць ведуть у цеху підготовки складів із застосуванням комп'ютерної техніки. Він організований у такий спосіб: на кожну відлиту й прийняту виливницю працівники ОТК виписують паспорт, який містить у собі наступні дані:

					КНУ РМ.136.24.544с-04.02 АС	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

- тип виливниці;
- номер виливниці;
- вага виливниці;
- дата заливання;
- дата приймання;
- хімічний склад чавуну;
- геометричні розміри.

Також є таблиця з обліку стійкості виливниці, яка містить у собі:

- дату введення виливниці в експлуатацію;
- кількість наливів;
- дату виходу з експлуатації;
- причину виходу з експлуатації.

Паспорта на виливниці разом з виливницями передають із цеху виливниць на склад злитків ЦПС, де їх зберігають до моменту відвантаження виливниць у відділення підготовки складів.

При відвантаженні виливниць у двори підготовки складів паспорта на них передаються у відділення підготовки складів. У паспорті відзначають дату введення виливниці в експлуатацію, тобто дату подачі виливниці під перший налив.

Облік уведення й виводу виливниць із експлуатації в цеху підготовки складів роблять у тій зміні, яка готує склад з виливницями до розливання плавок. Нові виливниці при введенні в роботу маркують вапном на 2-х гранях з попереднім записом у журнал обліку введення в експлуатацію нового змінного обладнання з позначкою їх уведення, номер виливниці, номер візка, на який установлена виливниця. При відбракуванні й вилученні з експлуатації роблять оцінку в журналі обліку виливниць. Відбракування виливниць роблять у цеху з передачею інформації в обчислювальний центр щодня.

Оператор ЕОМ на підставі даних по набору складів вводить номери виливниць у базу даних комп'ютера.

Щодня ведуть роздруківку працюючого парку виливниць, яка містить у собі:

- кількість виливниць;
- тип виливниць;
- номери виливниць;
- дату введення;
- дату останньої оборотності;
- кількість наливів;
- коефіцієнт оборотності на кожну виливницю.

Після виводу виливниці з експлуатації, на неї складають акт, у якому роблять оцінку причини відбракування, ці дані зтягають в ЕОМ. Аналіз причин виводу виливниць із ладу роблять співробітники лабораторії технічного керування підприємства.

Роздруківка по відбракованим виливницям містить у собі:

- аналіз відбракованих виливниць по оборотності;

					КНУ РМ.136.24.544с-04.02 АС	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

- аналіз відбракованих виливниць по видам дефектів і кількості наливів;
- узагальнений аналіз відбракованих виливниць по групах дефектів.

## 2.6. Вплив технології розливання сталі

Відомо, що розливочні прольоти сталеплавильних цехів є вузьким місцем у сталеплавильному виробництві в плані його збільшення. Щоб вчасно розлити всю виплавлену сталь, багато заводів змушено застосовувати двухстопорне розливання й розливання через склянку збільшеного діаметра. Ці фактори впливають на стійкість виливниць і піддонів: швидкісне розливання збільшує тепловий удар, сприйманий виливницею і піддоном; двухстопорне розливання викликає необхідність щільного розташування виливниць на піддоні, що утрудняє центрування струменя, у результаті чого відбувається "розмив" стінки виливниці й піддона й передчасний висновок їх з експлуатації й, крім того, погіршуються умови кристалізації злитків, що знижує їхня якість .

Дослідженнями в роботі [20] було встановлено, що жорсткість у плані дотримання температурного режиму при випуску й розливанню сталі дає можливість не тільки варіювати швидкість розливання в потрібних межах без шкоди для якості злитка, але підвищити при цьому стійкість виливниць. Так, прискорене розливання дозволяє знизити приблизно на 10 % температуру металу, що випускається, що, при дотриманні інструкції при розливанні (повільне відкриття стопора, центрування струменя й ін.), приводить до збільшення стійкості виливниць [21].

Метал не можна перегрівати, а також розливати з надмірно високою швидкістю, тому що виливниця й піддон сприймають більше теплове навантаження. У результаті цього зростає небезпека утвору тріщин в виливниці, особливо при перших наливах [22].

Крім того, перегрітий метал при порушенні центрування й організації струменя приводить до оплавлення внутрішніх граней виливниці, що у свою чергу обумовлює застрягання злитка, і надалі - механічне ушкодження при добуванні злитка, що негативно позначається на його якості.

Розливання холодного металу й аварійна плавка (з некроючимся стопором) також оказує негативний вплив на стійкість. Наприклад, при сифонному розливанні такий метал змушено розливати зверху, що приводить до розмивання дна виливниць і виводить її з ладу.

Щоб усунути розмивання низу й граней виливниці, необхідно при розливанні зверху струмінь строго центрувати по осі виливниць, а при розливанні сифоном забезпечити правильну ( по центру) установку стаканчика, щоб не було перекоосу.

При розливанні сталі в виливниці, розширені догори, отвору в донної частини закривають вкладишами, які охороняють виливницю від розмивання струменем сталі в донної частини й від приварювання злитків [5]. Вкладиші для цієї мети виготовляють литими або кованими у вигляді підбивок, що прикривають дно виливниць.

У процесі розливання через 2 стопори, дуже складно забезпечити центрування струменя металу одночасно у дві виливницях, хоча відомо, що правильне центрування струменя при розливанні зменшує приварювання злитків, сприяє поліпшенню їх якості й підвищує термін служби виливниць.

Одним з недоліків розливання сталі з ковшів великої ємності вважається більша швидкість витікання струменя сталі з ковша, яка приводить до розбризкування сталі при наповненні виливниць. Швидкість витікання струменя сталі найбільшою мірою залежить від рівня металу в ковші, що видно із залежності:

$$V = R \cdot \{2 \cdot q \cdot (H_1 - H_2)\}^{0.5} \quad (2.2)$$

де:  $V$  - швидкість витікання металу;

$H_1$  - висота рівня сталі в ковші над сталерозливною склянкою;

$H_2$  - висота сталерозливної склянки над рівнем сталі в виливниці;

$R$  - коефіцієнт опору руху струменя сталі.

Внаслідок великої швидкості витікання струменя сталі відбувається сильне розбризкування її на початку наповнення виливниць, приварювання злитків до виливницям і піддонам, збільшується зношування піддонів.

Розбризкування сталі при наповненні виливниць утворюються внаслідок неправильної організації струменя, що впливає з ковша (через погане промивання склянки киснем), або внаслідок недостатнього плавного регулювання швидкості наповнення виливниць стопорним механізмом. Розбризкування сталі й сплески її при наповненні виливниць викликають утворення пороків на поверхні злитків, плівок і інших дефектів [20].

### 3 Матеріали для виробництва виливниць

#### 3.1 Обґрунтування вибору матеріалу сталерозливних виливниць

Вибір оптимального матеріалу для виливниць представляється, на наш погляд, украй складною й суперечливою проблемою, розв'язок якої в ряді випадків залежить від конкретних умов даного ливарного й сталеплавильного цехів. Досить часто вибір матеріалу виливниці ґрунтується на загальному принципі забезпечення максимальної її стійкості. Однак, в умовах розвитку ринкових відносин при виборі матеріалу виливниць слід урахувувати комплексний критерій, що охоплює основні економічні аспекти виробництва й експлуатації виливниць.

Практика металургійного виробництва показує, що для виливниць успішно використовують різні чавуни. Тим часом, у цей час немає єдиної думки про те, які марки чавуну доцільно використовувати в тому або іншому випадку. У сукупності з економічними міркуваннями в чорній металургії перевагу віддають передільному чавуну першої плавки, який безпосередньо з доменного цеху направляють у ливарний. Безумовно, відсутність додаткового переплаву чавуну забезпечує досить суттєве зниження собівартості виливниць.

Більш складним є питання про регламентацію форми графіту в виливниці, оскільки цей параметр забезпечує варіабельність властивостей чавуну в досить широких межах. Тому при виборі матеріалу виливниці в увагу ухвалюють характер дефектів (тріщин), що виникають у стінках виливниць у процесі експлуатації в сукупності з показником стійкості виливниці по основних дефектах.

У спеціалізованих цехах при підготовці рідкого доменного чавуну потрібно здійснити дві основні операції: знизити температуру з метою зменшення в металі графітового пропелу, попередження пригару й скорегувати хімічний склад до рівня вимог, обумовлених технічними умовами на виливницю.

Коректування складу чавуну здійснюють добавками відповідних феросплавів, змішанням ливарного й передільного чавунів або доменного й ваграночного. При цьому з'являється корисний ефект модифікування металу. Для більшості типорозмірів виливниць якісний чавун одержують при використанні шихти наступного складу: 40...55 % ливарного чавуну, 10...15 % передільного чавуну, 30...50 % бою виливниць. При литті дрібних виливниць у шихті допускається до 10...15 % сталевого лома [14].

Режим плавки чавуну для виливу виливниць визначається головним чином необхідністю одержання в ньому високого вмісту вуглецю. Для

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ		
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.	Зайцев В. С.				Лит	Лист	Листов
Пров.	Сайтгареев Л.Н						
Т. контр.					ЛВ-23м		
Н. контр.	Сайтгареев Л.Н						
Утв.	Савельев С.Г.						

збільшення ступеня науглювання чавуну звичайно збільшують горни вагранки, не прагнуть до форсованого режиму плавки й до перегріву металу. Температура його при випуску з печі не повинна перевищувати 1300 °С.

Необхідну структуру й властивості чавуну в виливницях досягають регулюванням швидкості кристалізації вилівка й відповідним хімічним складом. Роль окремих складових обмежується регулюванням структури чавуну, що безпосередньо впливає й на службові властивості виливниць.

Для лиття виливниць найчастіше використовують чавуни, середній хімічний склад яких наведений у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Хімічний склад чавуну

Елементи	У доменній печі, %	У вагранці, %
C	4,1...4,4	3,6...3,8
Si	0,5...1,2	1,7...2,2
Mn	0,5...0,9	0,7...1,1
S	0,025...0,040	0,08...0,10
P	до 0,12	до 0,12

Залежно від умов експлуатації й типорозмірів виливниць склад чавуну може змінюватися в межах, зазначених у технічних умовах. Вплив основних елементів на службові властивості виливниць найбільше повно проаналізовані в роботі [23].

Узагальнюючи численні дослідження й рекомендації з якісної й кількісної оцінки придатності матеріалу для використання в виливницях, можна запропонувати використовувати схему, представлену на рисунку 3.1

Часовий опір при розтягуванні	Коефіцієнт відносного подовження	Коефіцієнт теплопровідності	Ростостійкість
Експлуатаційна стійкість виливниці (критерії, що пред'являють до матеріалу)			
Модуль пружності		Коефіцієнт лінійного розширення	

Рисунок 3.1 – Схема оцінки придатності матеріалу для виготовлення виливниці за критерієм «експлуатаційна стійкість»

Ефект підвищення стійкості виливниці може бути досягнутий зі збільшенням абсолютних значень показників, розташованих угорі рисунку, і при зменшенні показників з нижньої його частини. Однак, на практиці представляється досить проблематичним варіювання тільки одного або двох показників, що характеризують конструкційний матеріал.

Також не можна не відзначити, що критерій «експлуатаційна стійкість» у цьому випадку є лише складовою частиною функції раціонального вибору матеріалу виливниці. Очевидно, що при остаточному рішенні про вибір тієї

або іншої марки чавуну слід також ухвалювати в увагу його технологічні ливарні (рідкоплинність, усадка та ін.) і технологічні механічні (оброблюваність різанням) властивості. В остаточному підсумку, отриманий у відповідності зі схемою, наведеної на рисунку 3.1, результат може бути суттєво скоректований технологіями ливарного виробництва.

Окремі дослідники при виборі матеріалу виливниць рекомендують використовувати також додаткові параметри: циклічна в'язкість, теплотривкість, жаростійкість, квазіізотропність, несучільність структури, зносостійкість, адгезія та ін. Безумовно, наявність цих показників буде сприяти підвищенню стійкості виливниць. Однак, у реальних умовах достатнім все-таки представляється раціональний облік параметрів, застережених на рисунку 3.1, у сукупності з технологічними властивостями.

У якості головного критерію, що визначає придатність матеріалу для виливниць, автори [23] вважають здатність його протистояти впливу навантажень. Після ряду уточнень формула для оцінки придатності матеріалу виливниць пропонується в наступному виді [24]:

$$\mu = f(\lambda \cdot \sigma_B \cdot \delta / E \cdot \alpha \cdot S^{0,5}); \quad (3.1)$$

де:  $\mu$  - здатність матеріалу протистояти впливу навантажень;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності;

$\sigma_B$  - межа міцності на розтягання;

$\alpha$  - коефіцієнт лінійного розширення;

$E$  - модуль пружності;

$\delta$  - відносне подовження;

$S$  - температурний фактор, що враховує зменшення границі текучості при збільшенні температури, що й виражається у вигляді тангенса кута нахилу крива границя текучості — температура.

На підставі дисперсійного аналізу стійкості виливниць установлене, що основними властивостями чавуну, що визначають стійкість виливниць (3) є: циклічна в'язкість ( $Q$ ), температуропровідність ( $D$ ), модуль пружності ( $E$ ) і коефіцієнт теплового розширення ( $\alpha$ ), що виражається наступної статистичною залежністю:

$$Z = 147,68 (Q \cdot D (E \alpha)) + 40,46$$

Стійкість виливниць росте зі збільшенням перших двох складових і зі зменшенням других. Порівняння цих двох функціональних залежностей, що включають багато найважливіших властивостей матеріалів, свідчить про істотну розбіжність думок про питання вибору чавуну для виливниць.

У деяких роботах першорядна важливість віддається хімічному складу чавуну. В інших дослідженнях вказується на необґрунтованість цього виводу. У цей час достатнє чітко встановлений зв'язок між службовими властивостями виливниць і макро- і мікроструктурою чавуну [2]. Завдяки великій пластичності чавуну з кулястим графітом, знижується ймовірність появи наскрізних тріщин, а менша схильність його до росту сприяє затримці утвору сітки розпалу.

Це положення підтверджується спеціальним експериментом [9]. Виливниці відливали по стрижнях, половину грані яких по вертикалі

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		



покривали (дослідна ділянка) хромо-графітовою фарбою. У поверхневому шарі чавуну на звичайній ділянці була перліто-феритна структура з великими включеннями графіту, а на досвідченій ділянці спостерігалось багато карбідів хрому в перлітній основі й незначна кількість дрібного графіту.

Тріщини сітки розпалу на ділянці, збагаченому хромом, розросталися значно повільніше, ніж на звичайному. У цьому випадку підвищення ростостійкості чавуну в робочому шарі позитивно позначилося на розпалостійкості виливниць.

Основне значення для росту чавуну в поверхневому шарі виливниць має процес окиснення. Каналами для проникнення окисних агрегатів є графітові включення: чим більше їх кількість і величина, тем інтенсивніше йдуть процеси окиснення й росту. Графітові включення є не тільки каналами для проходження окисних агрегатів у чавун, але й концентраторами навантажень. Від графітових включень беруть свій початок тріщини. Як ми вже відзначали, виливниці з ферито-перлітного чавуну гірше протистоять утвору сітки розпалу, чому з перлітного; хоча перлітний чавун має знижену пластичність у порівнянні з феритним.

Окисні процеси у фериті протікають значно швидше, чим у перліті. При випробуванні зразків з перліто-феритного чавуну на розпалостійкість встановлено, що прикордонне окиснення фериту спостерігається після 10...20 циклів, у першу чергу навколо графіту. При збільшенні числа циклів окиснення просувається від графітових включень у глиб матриці в основному по феритним полям, обгинаючи перлітні ділянки, і тільки при значному числі циклів (150...200) може проходити по перліту [12].

Виливниці із чавуну з перлітною структурою краще протистоять утвору сітки розпалу, ніж з перлітно-феритною. З іншого боку, розпалостійкість чавуну із дрібними включеннями графіту, отриманого авторами в поверхневому шарі виливниць при дослідженні стрижнів з матеріалів з високої теплоаккумуляуючою здатністю, вище перліто-феритного.

Отже, для затримки розвитку сітки розпалу на робочій поверхні виливниць необхідно підвищувати пластичність (в умовах помірного окиснення), або підвищувати ростостійкість, навіть на шкоду пластичності.

Становить інтерес досвід роботи металургійного комбінату "Запорозсталь" у якому показано важливе значення змачуваності й адгезії. Виливниці з ваграночного чавуну, використовувані для розливання високолегованих сталей, мали більшу схильність до приварювання злитків. Після заміни ваграночного чавуну доменним стійкість виливниць різко підвищилася, але сітка розпалу розбудовується більш інтенсивно. Це пояснюється наявністю в доменному чавуні великої кількості великих включень графіту, що сприяє зменшенню смачиваємості поверхні виливниць сталлю, але, у той же час, приводить інтенсифікації процесів окиснення й росту чавуну в поверхневому шарі.

У такий спосіб при оцінці придатності матеріалу для виливниць не обов'язково й недоцільно брати до уваги якийсь строго певний фактор (температура, хімічний склад, макроструктура тощо) характеристики виливниці, а

					Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	

тільки декілька найважливіших з них. Принциповий підхід до вибору матеріалу обов'язково повинен базуватися на аналізі умов роботи виливниць і переважаючих причин їх відбраковування. Якщо дотримуватися такого принципу, то деякі характеристики, визнані найважливішими, можуть бути віднесені в розряд другорядних без шкоди для стійкості виливниць.

Імовірно, при оптимізації методики вибору чавуну й геометричних розмірів виливниці необхідно враховувати її конструкцію у взаємозв'язку з аналізом напруженого стану в процесі експлуатації. Пропонується таку комплексну оцінку здійснювати методом чисельного аналізу на ЕОМ, шляхом узагальнення результатів дослідження температурних полів, напружено-пластичного стану й стійкості виливниці. Дослідження, виконані А.А. Абрамовим, дозволили сформулювати наступні загальні вимоги, пропоновані до матеріалу для виліву термозбалансованих виливниць:

- високий рівень температурного порога циклічної в'язкості матеріалу, що дозволяє підвищити максимальну середню температуру по товщині стінки виливниці;
- максимальне збільшення коефіцієнта теплопровідності з метою зниження перепаду температур по товщині стінки виливниці, а, отже, зменшення навантажень і накопичування величини пластичної деформації (при цьому трохи підвищується найбільша товщина стінки виливниці, середня температура, а також температура її внутрішньої й зовнішньої стінки);
- мінімально низькі значення коефіцієнта лінійного розширення й модуля пружності, що зменшує термозміцнення й термопластичні напруги й деформації;
- підвищення часового опору, границі текучості й характеристик пластичності.

## **3.2 Особливості застосування різних марок чавуну як матеріалу для виливниць**

### **3.2.1 Виливниці з доменного передільного чавуну із пластинчастим графітом**

Узагальнюючи багаторічний досвід виробництва й експлуатації виливниць, слід зазначити, що найбільш ефективним фактором, що забезпечують їхню високу стійкість, є раціональний вибір хімічного складу й структури чавуну. З економічної точки зору вкрай перспективним представляється використання доменного передільного чавуну без додаткового його переплаву.

Переваги доменного передільного чавуну як матеріалу для виливниць у цілому не викликають сумнівів. Заміна ваграночного чавуну доменним навіть без зміни конструкції виливниці забезпечує підвищення їх стійкості на 15- 20% при помітному зниженні собівартості. Високі експлуатаційні властивості доменного передільного чавуну звичайно зв'язують із підвищеним вмістом у

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

ньому вуглецю, сприятливий вплив якого на стійкість виливниць відзначається більшістю дослідників. Перші експерименти по використанню доменного чавуну для виливниць ставляться ще до початку століття. Однак, як показали ці дослідження, без попереднього очищення чавуну від графітного пропелу, що сильно вражає внутрішню поверхню виливниць і викликає у зв'язку із цим надмірно великий їхній брак, одержання виливниць із високою стійкістю представляється досить проблематичним.

Основним питанням є технологія доведення доменного передільного чавуну по хімічному складу й температурі. По специфіці технологічного процесу доведення хімічного складу доменного передільного чавуну для виливниць слід розрізнити технологію доведення чавуну в ливарних цехах, переведених з ваграночного на доменний чавун, і технологію доведення чавуну в спеціалізованих ливарних цехах, що роблять виливниці в умовах крупносерійного або масового виробництва.

При перекладі фасонолитійного цеху з ваграночного на доменний передільний чавун необхідно, у першу чергу, розв'язати проблему його переливу із чугуновозного ковша. Оскільки наявне в таких цехах підйомно-транспортне встаткування не пристосовано до роботи з важкими чугуновозними ковшами, те найбільш раціональним представляється спорудження в ливарному цеху кантовального пристрою. Наявність такого пристрою забезпечує приймання чугуновозних ковшів і слив чавуну в разливочний ківш без реконструкції цеху й модернізації кранового встаткування. Ділянка приймання чавуну, що включає кантовальний пристрій стандартному разливочній машини, пульт керування, робочий майданчик із проміжною ринвою, доцільно розташовувати за межами будинку цеху. Очевидно, до складу цієї ділянки також доцільно включати пристрій для продувки чавуну нейтральним газом (азотом). Необхідність такої установки в цілому слід вирішувати стосовно до конкретного ливарного цеху, тому що на ряді металургійних заводів існують установки для позапічевої обробки чавуну безпосередньо в чугуновозних ковшах, що не можна не брати до уваги.

При необхідності коректування хімічного складу передільного чавуну для виливниць в умовах ливарного цеху виникає проблема введення відповідних феросплавів і лігатур безпосередньо в розливний ківш. Як показує досвід вітчизняних заводів, перевага все-таки віддається найбільш простим у функціональному плані установкам і технологіям. Наприклад, розроблений у ливарному цеху Донецького металургійного заводу спосіб обробки чавуну в розливному ковші включає завантаження лігатури на дно ковша у відкриту зверху камеру, у яку попередньо встановлюють піддон разом з футерованою штангою (рисунок 3.2).

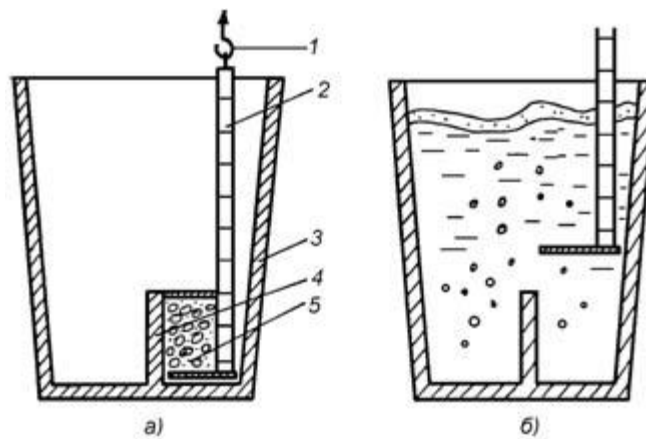


Рисунок 3.2 - Схема обробки чавуну в ковші модифікаторами й лігатурами: а – положення піддона перед заливанням; б – положення піддона при обробці; 1 – механізм підйому; 2 – футерована штанга; 3 – ківш; 4 – перегородка; 5 – піддон з лігатурою.

Камера відгороджена на дні ковша перегородкою з вогнетривкої цегли. Після заповнення ковша металом піддон разом з лігатурою переміщують піднімальним механізмом вертикально нагору й утримують у такому положенні до припинення взаємодії лігатури із чавуном. За літературними даними, чавун можна обробляти навіть при температурах 1250-1270 °С.

При виробництві виливниць у спеціалізованих ливарних цехах можливості по керуванню якістю чавуну значно розширюються й, головним чином, залежать від концептуального рішення стосовно до конкретних умов. Накопичений досвід по виробництві виливниць у спеціалізованих ливарних цехах підтверджує доцільність їх організації. Тим часом, у силу неухильного зниження частки сталі, що розливається в злитки, подальше розширення обсягів виробництва виливниць у спеціалізованих цехах представляється досить проблематичним. В умовах розвитку ринкових відносин особливої уваги заслуговують технологічні приймання, що базуються на використанні модифікаторів і реагентів, що мають порівняно низьку вартість. Так, для підвищення стійкості важких виливниць на металургійному комбінаті "Запоріжсталь" тривалий час використовували технологію обробки передільного чавуну титановою губкою, що є відходом титаномагнієвого виробництва. Титанова губка (оптимальна фракція 2-5 мм) подається в ливникову чашу під струмінь металу при заливанні форми (рисунок 3.3). Вивчення хімічної неоднорідності чавуну виливниць для листових злитків показало, що поряд зі зменшенням неоднорідності розподілу вуглецю й сірки по висоті виливниці із чавуну, модифікованого титановою губкою, зменшується і їх середній вміст.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

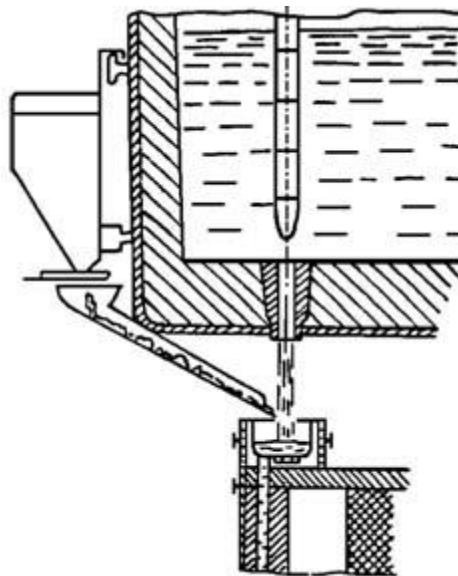


Рисунок 3.3 – Схема подачі титанової губки в ливникову чашу при заливанні форм виливниць

При обробці чавуну титановою губкою в виливницях формується перлитно-феритна структура (вміст фериту до 40%). Як показали металографічні дослідження, у зразках чавуну, обробленого титановою губкою, ферит облямовує графітові пластинки й, очевидно, знижує напруги, що концентруються в кінців графітових включень. На практиці встановлено, що зі збільшенням залишкового вмісту титану динамічний модуль пружності й коефіцієнт Пуассона, звіренні за допомогою ультразвукового вимірника швидкості УЗИС-7, знижуються. Теплопровідність же обробленого титановою губкою чавуну зростає, що, очевидно, є наслідком збільшення частки ферита в металевій основі й більш повної графітизації чавуну.

Для чавуну, обробленого титановою губкою, відзначено також підвищення термостійкості на 10-40 % (найкращі результати досягнуті при залишковому вмісті титану до 0,09 %). У цих дослідженнях показник термостійкості оцінювали по схильності чавуну до тріщинотворення, яку визначали на пустотілих циліндричних зразках з гострим виточенням на одному з торців, що виконувала роль концентратора навантажень. Середину зразків нагрівали струмом високої частоти до 900 °C (температура у виточення при цьому досягала 500 °C, що імітувало неоднорідне нагрівання чавуну в виливниці в ході її експлуатації). Опірність чавуну утвору сітки розпалу оцінювали за результатами випробувань проб на окалиностойкість і ростостійкість. При температурі 600 °C ці показники у всіх випробовуваних чавунів були однаковими, а при 800 °C більш низькі показники відзначені в чавуну, обробленого титановою губкою. У місцях утвору тріщин відзначене збільшення евтектичного зерна, розмірів графітових включень, підвищення їх однорідності й більш високий ступінь ізольованості.

Для з'ясування механізму впливу губчатого титану на процеси графітизації й кристалізації в доменному чавуні визначали склад і вміст у ньому газів. Установлено, що при вакуумному нагріванні до 900 °C із 100 грамів

губки виділяється близько 2000 див<sup>3</sup> водню. Вміст водню в чавуні, обумовлено методом нагріву-вакуум-нагрівання, до й після введення губчатого титану в кількості 2 кг на тонну чавуну, склало, відповідно, 2,30см<sup>3</sup> і 2,60см<sup>3</sup> на 100 г чавуну. Аналіз вмісту кисню й азоту, виконаний методом плавлення<sup>^</sup>-плавлення-вакуум-плавлення при температурі 1700 °с і тиску 0,013 Па, показав, що при залишковому вмісті титану 0,06-0,09% і вище вміст цих елементів у чавуні після обробки титановою губкою практично не змінюється. При цьому титан зв'язує азот у тугоплавкі нітриди, які не розкладають при плавлення<sup>^</sup>-плавленню-вакуум-плавленні. Найбільший ступінь графітизації отриманий у чавуну, що містить 0,06-0,07 % залишкового титану. У зразках, вирізаних із середини стінки виливниці після обробки титановою губкою, відзначене деяке укрупнення графітних включень.

Найбільш імовірний механізм впливу титанової губки на чавун, очевидно, полягає в наступному. Оскільки з губки в локальних обсягах виділяється велика кількість водню, пухирці якого спливають через рідку ванну чавуну, то в розплаві збільшується ймовірність зіткнення часток надлишкового заевтектичного вуглецю й прискорюється їхня коагуляція й спливання в результаті флотації. Крім цього, титан, взаємодіючи з розчиненим азотом, утворює тугоплавкі нітриди, що забезпечує видалення з розплав азоту, який перешкоджає процесу графітизації. Це підвищує чистоту кристалів заліза й збільшує пластичність металевої основи чавуну й, у свою чергу, сповільнює утворення тріщин у стінках виливниць. Продувка металу пухирцями водню також сприяє очищенню чавуну від графітових і неметалічних включень і забезпечує послідовно-об'ємний характер кристалізації, тобто, більш швидке утворення твердої кірки з боку стрижня з більш дрібним евтектичним зерном. Додатково водень сприяє збільшенню розмірів графітових включень у торцевих і зовнішніх частинах стінок виливниць.

У цілому ж дослідження впливу губчатого титану на стійкість важких слябінгових виливниць показали, що краща комбінація структури й властивостей чавуну, обробленого губчатим титаном, досягається при вмісті титану в чавуні на рівні 0,06-0,09%. У цьому випадку питома витрата виливниць знижується в середньому на 10-15 %.

Тим часом, багаторічна практика роботи цехів по виробництві виливниць показала, що при використанні доменного передільного чавуну все-таки не вдається уникнути деяких досить специфічних дефектів (плівки на внутрішній поверхні виливниць, пригар та ін.), які можуть досить суттєво впливати на експлуатаційні показники виливниць.

Звичайно плівки утворюються в кутах і донної частини виливниць, що значно знижує якість їх внутрішньої поверхні. Відзначене, що частота утворення плівок вище при виробництві важких і товстостінних виливниць. Наявність плівок в 1, 5-2 рази збільшує трудомісткість процесу очищення виливниць, що відповідно знижує продуктивність обрубної дільниці. Крім цього, відшаровування невилучених плівок при заливанні сталі погіршує якість поверхні злитків. По хімічному складу плівки суттєво відрізняються від ковшевої проби вихідного чавуну: вміст фосфору в плівках доходить до 0,30-

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

0,48% при максимальному вмісті в ковшевих пробах 0,087-0,136% (дані комбінату "АМКР"). Для мікроструктури плівок характерна наявність великої кількості фосфідної евтектики й заевтектичного графіту. Дані хімічного й металографічного аналізу плівок дозволяють зробити висновок про те, що вони являють собою "випоти" евтектичної рідини, збагаченої ликватами (фосфором). Це можна розглядати як прояв ефекту зворотної ліквзації. Імовірність утвору плівок на внутрішній поверхні виливниць залежить від хімічного складу чавуну ( головним чином, від співвідношення вмісту марганцю й кремнію). Зі збільшенням цього відношення ймовірність утвору плівок в виливницях зменшується. При величині відносини вмісту марганцю до кремнію рівному 2,0 плівки практично не спостерігаються, хоча такий склад чавуну для стійкості виливниць далеко не у всіх випадках є оптимальним. Однією із причин такого сприятливого впливу цього відношення є зниження величини предусадочного розширення й, отже, внутрішнього тиску у виливку в процесі кристалізації.

Істотний вплив на утвір плівок виявляє попередня обробка чавуну, застосовувана для коректування його хімічного складу. Найбільша частота утвору плівок спостерігається в виливницях, що відливаються із чавуну, модифікованого феросиліцієм, а найменша - із чавуну, обробленого окалиною. Виливниці, що відливаються із чавуну поточного виробництва, займають щодо цього проміжне положення, причому ймовірність утвору плівок у них коливається в досить широких межах залежно від концентрації в чавуні графітових, газових і неметалічних включень. Дослідження макроструктури чавуну в стінках виливниць показало, що утвір плівок обумовлений впливом різної обробки на характер затвердіння чавуну. При модифікуванні твердим феросиліцієм у розплаві утворюється велика кількість додаткових центрів кристалізації, що сприяє об'ємному характеру затвердіння й викликає здрібнювання й вирівнювання розмірів евтектичного зерна по товщині стінки виливниці. Подрібнюючи зерно й сприяючи об'ємному характеру кристалізації, модифікування збільшує тим самим тривалість перебування металу у твердо-рідкому стані, що приводить до затримки утвору твердої кірки. Розвиток процесу графітизації відбувається одночасно майже в повному об'ємі виливка, що збільшує внутрішній тиск у розплаві й, відповідно, підсилює видавлювання евтектичної рідини, внаслідок чого вона проникає на внутрішню поверхню виливниць у тих місцях, де кірка затверділого металу має найменшу товщину (у кутах виливниць). Тим часом, в виливницях, що відливаються з немодифікованого чавуну, звичайно переважає послідовний (послідовно-об'ємний) характер кристалізації. Як відомо, у цьому випадку тверда кірка з боку стрижня утворюється швидше, що утрудняє просочування останніх порцій евтектичної рідини й може запобігти виникненню плівок.

Найкращі результати, отримані при литті виливниць із високомарганцевистого чавуну, що зазнав обробці окалиною, обумовлені тим, що в цих умовах забезпечується також послідовний (послідовно-об'ємний) характер кристалізації. У результаті барботажа металу газами, що виділяються при обробці, відбувається очищення чавуну від різного роду неметалічних

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

включень, що сприяють розвитку об'ємного характеру затвердіння виливка. Суттєве зменшення кількості плівок спостерігається також у випадку продувки чавуну стисненим повітрям і азотом. Позитивний вплив продувки рідкого чавуну на зменшення ймовірності утвору плівок може бути також пояснене очищенням чавуну від мікро-угруповань заевтектичного графіту й інших неметалічних включень, що сприяють об'ємному характеру кристалізації.

Крім плівок в виливницях із чавуну доменної плавки нерідко спостерігається своєрідний вид пригару, який найчастіше утворюється в кутах і донній частині, де товщина металізованих його утворів доходить до 200 мм. Пригар також може утворюватися на гранях. Тут товщина пригару звичайно не перевищує 20 мм, і він порівняно легко віддаляється у вигляді металізованих "карт" з лінійним розміром кілька десятків сантиметрів, оголюючи гладку поверхню виливків. Характер пошкодження внутрішньої поверхні виливниць пригаром буває різним. В одних випадках він проявляється у вигляді окремих ділянок більшої або меншої довжини, а в інших - вражає кут на значну висоту, захоплюючи частину грані.

Розглянутий вид пригару являє собою формувальну суміш, просочену чавуном. Поява пригару в виливницях, що заливаються при низьких температурах (нижче 1200 °С), що виявляються при цьому плівки, а також факт легкого відділення плоских утворів пригару від поверхні граней дозволяють припускати, що розглянутий вид пригару по своєму походженню відрізняється від "класичного" механічного пригару і є специфічним для доменного передільного чавуну. Додатково встановлене, що кількість заліза в пригарі коливається в межах 21-67%, а вміст фосфору в металевій частині пригару - у межах 0,117-0,280 % при вмісті його в чавуні виливниць 0,05-0,06%.

Отже, описаний вид пригару можна розглядати як самостійний вид дефекту, який на відміну від "класичного" механічного пригару утворюється не при контакті рідкого металу з поверхнею форми, а після утвору затверділої корки виливка. Цей вид пригару, подібно кутовим плівкам, є наслідком видавлювання через пористу корку виливків останніх порцій рідини, що ще залишився між евтектичними зернами й проникнення її між частками формувальної суміші. Утворенню такого типу пригару також сприяє загальне або слабке локальне ущільнення поверхні стрижнів.

Крім цього для виливниць із доменного передільного чавуну характерна значна макронеоднорідність, як по товщині, так і по висоті стінок. Макронеоднорідність проявляється в наявності у виливку евтектичного зерна таких розмірів, які не характерні для даної зони. Причиною цього виду макронеоднорідності є фізична й хімічна неоднорідність рідкого чавуну доменної плавки, що є по своєму складу заевтектичним і утримуючим велику кількість макроугруповань графіту. Макронеоднорідність по висоті проявляється в поділі поздовжнього перетину стінки на дві зони з якісно різною макроструктурою. У нижніх зонах (2/3 висоти від низу при заливанні) наскрізних виливниць евтектичне зерно має чітко виражені границі, а у

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		



верхніх зонах (1/3 зверху) евтектичне зерно практично не виявляється. Це обумовлене вираженим об'ємним характером затвердіння в цій частині виливниць через із забрудненням чавуну спливаючим заевтектичним графітом і іншими неметалічними включеннями.

Таким чином, практика використання виливниць із доменного передільного чавуну в цілому дозволила визначити раціональний хімічний склад матеріалу й загальну схему технології їх виробництва. Розв'язок проблеми підвищення стійкості виливниць, очевидно, буде одержувати подальший розвиток у частині пошуку технологій доведення чавуну, як конструкційного матеріалу з підвищеними експлуатаційними властивостями.

### 3.2.2 Виливниці з передільного чавуну з кулястим графітом

Для успішного застосування модифікованого магнієм передільного доменного чавуну з урахуванням специфіки властивостей цього матеріалу (більш високе в порівнянні з ваграночним чавуном вміст вуглецю й марганцю, відносно низький вміст кремнію й сірки, наявність надлишкового графіту), необхідно розробляти спеціальну технологію модифікування. У цей час кращі результати по підвищенню стійкості виливниць за рахунок застосування чавуну з кулястим графітом досягнуті при виробництві дрібних і середніх виливниць. Однієї із причин, що стримують розширення виробництва виливниць із чавуну з кулястим графітом, є недостатня ефективність використовуваних способів модифікування магнієм, що не дозволяє успішно застосовувати їх для обробки більших мас чавуну. Наслідком недоліків застосовуваних способів модифікування є неоднорідність структури, що більш явно проявляється в середніх і великих виливницях. Особливо слід звернути увагу на те, що в цьому випадку по всій товщині стінок виливниць не вдається одержати кулястий графіт.

У цілому придатними при масовому виробництві виливків способами обробки чавуну магнієм є такі, які задовольняють наступним вимогам: а) виняткової стабільності процесу обробки; б) надійності роботи встаткування; в) найкоротшому циклу тривалості обробки; г) найбільшій економічності процесу в цілому.

У країнах СНД і за кордоном при виробництві виливниць в основному застосовуються п'ять способів обробки чавуну магнієм:

- металевим магнієм у відкритих ковшах;
- металевим магнієм в автоклавах і герметизованих ковшах;
- кремній-магнієвими й комплексними лігатурами в проміжній ємності (реакторі);
- кремній-магнієвими лігатурами у відкритих ковшах;
- вдмухуванням порошкового магнію в барабанному ковші.

Модифікування чавуну зануренням кускового металевого магнію у відкритому ковші зазвичай застосовують при виливку виливниць із ваграночного чавуну. Цей спосіб модифікування порівняно простий, не вимагає складного встаткування, але не відповідає вимогам виробничої

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

санітарії й техніки безпеки. Крім того, процес модифікування в цьому випадку малокеруємий і не забезпечує одержання стабільних результатів по вмісту залишкового магнію. Низьке засвоєння й висока витрата магнію (0,5-0,6 % від маси чавуну) збільшує вартість обробки, а значне зниження температури металу (на 70-100 °С) викликає необхідність додавання гарячого чавуну, що суттєво збільшує тривалість процесу обробки. У силу відзначених недоліків цей спосіб, очевидно, не може бути застосований при масовому виробництві великих виливниць.

Модифікування чавуну металевим магнієм в автоклавах, хоча й має технологічні переваги в порівнянні з першим способом, не знайшло широкого промислового застосування. Автоклавні установки складні в обслуговуванні, а керування процесом модифікування залежно від вихідних температур й хімічного складу чавуну утруднене. Додатково слід зазначити, що вітчизняна промисловість не робить автоклави великої ємності ( принаймні, для 20-30 т чавуну). Усе вищесказане дозволяє вважати цей спосіб модифікування чавуну малоперспективним з погляду організації масового виробництва великих виливниць, особливо з передільного чавуну доменної плавки.

Відомі способи обробки чавуну кремній-магнієвими й комплексними лігатурами у відкритих ковшах і в реакторі порівняно прості й можуть використовуватися для модифікування більших мас чавуну, однак у цьому випадку і їм властиві певні недоліки. Застосування низькопроцентних (2-5 % магнію) лігатур з більшою їхньою витратою (3,2-3,5 % від маси чавуну) приводить до значного зниження температури чавуну й надмірному збагаченню його кремнієм. Застосування високопроцентних (10-20 % магнію) лігатур супроводжується значним піроефектом і сильним виділенням диму й, в остаточному підсумку, мало чому відрізняється від способів введення металевого магнію у відкритий ківш.

Обробка чавуну в проміжній ємності не забезпечує одержання стабільних результатів по вмісту залишкового магнію, а сам процес модифікування практично не управляємий й у значній мірі залежить від вихідної температури чавуну. Наприклад, при підвищеній температурі (більше 1240 °С) значна частина лігатури згоряє над поверхнею металу, а при низькою - погано засвоюється. У комплексних лігатурах для лиття середніх і великих виливниць необхідно також обмежувати вміст марганцю в чавуні на рівні 0,2%, що поряд з високою чутливістю способу до зміни температури чавуну, значним збагаченням його кремнієм, низькою керованістю процесу й незадовільними умовами праці, суттєво обмежує область застосування традиційних лігатур для обробки передільного чавуну доменної плавки, хімічний склад і температура якого можуть мати значні коливання від ковша до ковша.

Значною мірою позбавлений властивих перерахованим вище способам недоліків розроблений Інститутом Чорної Металургії НАН України спосіб модифікування чавуну в барабанному ковші вдмухуванням порошкового магнію. Спосіб забезпечує надійність і стабільність результатів, а також досить високе засвоєння магнію (40 - 50 %) при низькій його витраті (0,22 -

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

0,25 % від маси оброблюваного чавуну). Найважливішою особливістю способу є можливість оперативного керування ходом процесу модифікування з метою одержання регламентованого вмісту магнію залежно від температури й хімічного складу чавуну. Установа такого типу для модифікування чавуну споруджена в спеціалізованому цеху по виробництві великих виливниць металургійного комбінату "АМКР". Основні вузли установки наведені на рисунку 3.4.

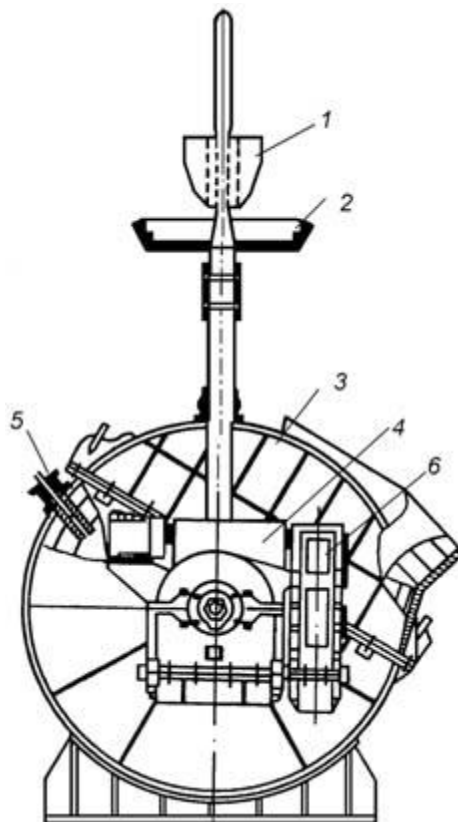


Рисунок 3.4 – Схема барабанного ковша для модифікування чавуну вдмухуванням порошкоподібного магнію: 1 - змішувач для готування суміші, що модифікує; 2 – бункер-живильник для видачі газопорошкової суміші; 3 – барабанний ківш ємністю 15 тонн; 4 – камера зі стендом для розміщення ковша під час модифікування; 5 – вентиляційна система для видалення й очищення газоподібних продуктів модифікування; 6 – система трубопроводів і контрольно-вимірювальних приладів.

Змішувач призначений для готування однорідної магній-графітової суміші. Порошковий магній і срібlistий графіт за допомогою вакуумного насоса перемішуються в «киплячому» шарі. Готова суміш по трубопроводу подається в бункер-живильник, а з нього в потоці стисненого повітря в барабанний ківш. Для подачі в рідкий чавун суміші, що модифікує, у футеровку ковша закладене сопло, яке виконано зі сталеві трубки діаметром 15 мм і довжиною 400 мм з футеровкою ковша. Перед подачею магнію (у вихідному положенні) вихідний отвір сопла перебуває на 150-200 мм над поверхнею металу. Практична оцінка ефективності модифікування чавуну магнієм виконана по стійкості наскрізних блюмінгових виливниць типу МК-1265 До масою 13,5 т, для виливу яких використовували разову суху піщано-

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

глинисту форму. Заливання форм виливниць робили з того ж ковша, у якому здійснювали модифікування.

Установлене, що на вміст залишкового магнію в чавуні для виливниць впливає достатня велика кількість факторів. Кількісний вплив таких факторів, як температура чавуну, що модифікується, інтенсивність уведення магнію й концентрація магнію в газі-носії в межах їх фактичної змінюваності невелике й на порядок нижче впливу питомої витрати магнію й початкового вмісту сірки. Тому для зручності практичного використання рекомендується наступне узагальнене рівняння, що зв'язує вміст залишкового магнію, його питома витрата й початковий вміст сірки в чавуні:

$$Mg_{\text{зал}} = 0,026 + 0,022Mg_{\text{в}} - 0,373S_{\text{поч}}$$

Оскільки температура рідкого металу є одним з факторів, що визначають одержання якісних виливків, значний інтерес представляє фактичне зниження температури чавуну при модифікуванні. Така оцінка розрахунковим шляхом представляється досить скрутною, оскільки при введенні магнію в рідкий чавун відбувається витрата тепла на нагрівання й випар магнію, на нагрівання графіту й газу-носія, на втрати тепла через футеровку в силу динамічного перемішування рідкої ванни.

З іншого боку, реакції взаємодії магнію із сіркою, киснем чавуну й киснем транспортуючого повітря йдуть зі значним виділенням тепла. Установлене, що загальні втрати температури чавуну не перевищують 30 °С (у тому числі при транспортуванні ковша до установки для модифікування – 10 °С, при обробці магнієм – 15 °С, при вторинному модифікуванні й транспортуванню ковша до місця заливання форм – 10 °С).

У виробничих умовах після введення магнію в метал і до початку заливання форм чавун якийсь час перебуває в ковші. Є різні дані про зниження вмісту магнію в чавуні після модифікування. Величина втрати магнію залежить від температури чавуну й тривалості його витримки в ковші. Як показали експерименти, при температурі 1180 °С вміст магнію в чавуні знижується на 0,0004 % у хвилину, а при 1270 °С втрати становлять 0,0006 % у хвилину. Отже, при середній тривалості перебування чавуну в ковші після модифікування 20 хвилин втрата магнію становить 0,008-0,012 %. Цю втрату слід ураховувати при визначенні необхідної питомої витрати магнію для забезпечення заданого вмісту залишкового магнію.

Додатково встановлене, що при обробці передільного чавуну доменної плавки вдмухуванням суміші порошкового магнію із графітом відбувається зниження вмісту вуглецю в середньому на 0,12 % або приблизно на 3 % від первісного вмісту вуглецю в чавуні. Очевидно, більш високий вміст вуглецю після обробки чавуну магній-графітовою сумішшю в порівнянні з обробкою чистим магнієм пояснюється тим, що срібlistий графіт, що вводиться в чавун, частково залишається в розплаві.

З відомих методів модифікування лігатурами найбільший ефект досягається модифікуванням у ливарній формі (inmold process). Тонко здрібнену лігатуру поміщають у розташовану під живильником реакційну камеру. При певній комбінації температури й швидкості заливання чавуну

					Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	

модифікатор розчиняється потоком, що рухається, металу в міру заповнення форми. Реакція протікає без прямого контакту з повітрям, піроефект відсутній. Мінімальна витрата лігатур.

Цей спосіб дозволяє підвищити коефіцієнт засвоєння магнію з лігатур до 65-90 %. Однак, при використанні цього методу необхідно передбачати, щоб у базовій шихті була мінімальна кількість сірки й щоб лігатура була однорідної по складу, крім того, необхідний строгий контроль температури й швидкості заливання, а також точний і правильний розрахунки ливникової системи.

При модифікуванні за допомогою дроту в розплав з постійною швидкістю подається дріт, отриманий шляхом пресування порошкоподібної лігатури, що містить залізо, кремній і магній. Дріт подається в процесі заливання форми в струмінь у ливникової системи.

Узагальнюючи розглянуті дослідження й накопичений практичний досвід, представляється можливим рекомендувати наступні вимоги, виконання яких забезпечує одержання високоякісних виливниць із чавуну з кулястим графітом:

1. Після обробки магнієм чавун необхідно піддавати вторинному модифікуванню феросиліцієм. Витрата феросиліцію повинна становити 0,5-0,6 % від маси чавуну (залежно від ступеня засвоєння).
2. Заливання форм необхідно вести при температурі чавуну в межах 1220-1260 °С. Якщо температура чавуну вище зазначених значень, то доцільно передбачати його витримку в ковшах – відстійниках або чугуновозних ковшах.
3. Швидкість підйому металу при заливанні виливниць із магнієвого чавуну повинна бути не менше 15 мм/з, що регламентується розмірами елементів ливникової системи.
4. Після закінчення заливання повинна здійснюватися ретельне підживлення форм чавуном протягом 8-10 хвилин.

У цілому, в виливницях з доменного передільного чавуну, обробленого магнієм, спостерігаються два типи макроструктури - один характеризується світлосірим зламом по всій товщині стінки виливниць, а іншої - "плямистою" зоною, що займає приблизно 1/3 товщини в осьовій зоні стінки. "Плямиста" зона відзначена, головним чином, в виливницях зі вмістом магнію від 0,01% до 0,025 %, а також понад 0,055- 0,060 %. Виливниці зі вмістом магнію 0,025-0,55 % мають світлосірий злам по всій товщині стінки. Верхня частина виливниць на відстані 200-300 мм від торця має темносірий злам, тому що ця частина збагачена вуглецем і сірчистими включеннями.

У металі виливниць, що містить 4,1-4,3 % Z, 0,5-1,6 % Si, 0,5-1,4 % Mn і до 0,005 % S, куляста форма графіту в поверхневих шарах глибиною до 40-50 мм, куляста й компактна форма графіту по всій товщині стінки досягаються при вмісті магнію в межах 0,025-0,055 %. При вмісті магнію менш 0,025% і більше 0,055-0,060% в осьовій зоні (приблизно 1/3 частина товщини стінки) виливниць переважає «переохолоджений» графіт. При вмісті магнію менш

0,01 % по всій товщині стінки виливниць спостерігається пластинчастий графіт.

Дослідження величини й форми графітових включень показали, що форма кулястих включень трохи погіршується, а розміри їх збільшуються в напрямку від поверхні до центру стінки виливниць. По висоті виливниць у поверхневих зонах стінок форма й розміри графітових включень практично не змінюються.

Що ж стосується металевої матриці чавуну, то вона звичайно перлітна й перліто-феритна залежно від вмісту кремнію й марганцю. Перлітна матриця характерна для виливниць зі вмістом марганцю більш 1 % і кремнію менш 1 %. По висоті й товщині стінки виливниць зі світлосірим зламом характер металевої матриці практично не змінюється. Зі збільшенням вмісту кремнію й зі зменшенням вмісту марганцю кількість ферита може досягати 30 %.

По висоті стінки виливниць спостерігається значна позитивна ліквіація вуглецю, сірки й магнію. Максимальні значення характерні для верхньої частини виливниць, де відбувається всплытие перерахованих вище елементів. вміст кремнію й марганцю по висоті виливниць практично не міняється.

По товщині стінки виливниць характер зміни механічних показників наступний: метал виливниць із однорідною макроструктурою характеризується сталістю механічних властивостей по всій товщині стінки; у зоні «плямистого» зламу механічні характеристики трохи нижче, чим у поверхневих зонах. Після експлуатації виливниць спостерігається деяке збільшення характеристик міцності металу внутрішнього шару в порівнянні із зовнішнім і осьовим. На комбінаті «Криворіжсталь» середня стійкість виливниць із магнієвого чавуну приблизно в 1,5-1,6 рази перевищила стійкість таких же по конструкції виливниць із передільного пластинчастого чавуну (середня стійкість склала, відповідно, 86 і 54 наливу). Слід зазначити, що для виливниць із магнієвого чавуну мав місце інший характер причин виходу виливниць із ладу.

Для виливниць із магнієвого чавуну практично повністю не спостерігався розпал робочої поверхні, для виливниць із пластинчастого графіту цей дефект був причиною виходу з ладу приблизно третини всіх виливниць. Гарний стан робочої поверхні виливниць зберігалось протягом усього циклу експлуатації, а глибина тріщин сітки розпаду не перевищувала 5-8 мм. Крім того, виливниць з магнієвого чавуну, на відміну від звичайних, не схильні до утвору поздовжніх і поперечних тріщин, а причиною поперечних тріщин в основному є відомий ливарям дефект – заворот. Середня стійкість виливниць, вийшовших через утвір поздовжніх тріщин другого роду, приблизно в 1,4-1,5 рази перевищила середню стійкість звичайних виливниць із пластинчастим графітом. На виливницях з магнієвого чавуну поздовжні тріщини утворюються переважно від верхнього торця на гранях і в кутах. З'являються вони у вигляді ледь помітних тріщин через 20-40 наливів і розростаються досить повільно.

Основною причиною виходу з ладу виливниць із магнієвого чавуну є жолоблення, що проявляється в необоротній деформації більш широких

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

граней в усередину тіла. Величина прогину може досягати 15-20 мм і більше, що ускладнює роздягання злитків. Час виводу таких виливниць із експлуатації залежить в основному від технологічної можливості забезпечення процесу роздягання злитків. Строк їх служби може перевищувати термін служби звичайних виливниць в 2-2,5 рази.

Причиною жолоблення, очевидно, слід уважати нагромадження в виливницях у ході експлуатації значного рівня внутрішніх напружень. Це виявляється досить важливим фактором при підвищених пластичних властивостях магнієвого чавуну, так створюються умови для деформації без руйнування. В виливницях зі звичайного чавуну це приводить до утвору наскрізних тріщин.

На підставі отриманих експериментальних даних, можна вважати, що висока стійкість виливниць із чавуну з кулястим графітом досягається при забезпеченні кулястої й компактної форм графіту по всьому перетину виливниці й вмісті магнію в чавуні виливниць у межах 0,025-0,055 %.

Необхідно мати на увазі, що експлуатаційні ресурси магнієвого чавуну для виливниць використані далеко не повністю. Це пов'язане з тим, що серйозна відмінність фізико-механічних і теплофізичних властивостей магнієвого чавуну вимагає відповідної корекції конструкції виливниць (особливо у випадку використання як базового об'єкта конструкції виливниці для чавуну із пластинчастим графітом).

Подальше підвищення стійкості виливниць, що відливаються з магнієвого чавуну, імовірно, може бути досягнуте: 1) за рахунок удосконалювання їх конструкції в напрямку збільшення опірності жолобленню; 2) за рахунок одержання різних регламентованих форм графіту по глибині стінки виливниці («мультизонне» розташування); 3) за рахунок розробки заходів, які перешкоджали б швидкому нагромадженню внутрішніх залишкових навантажень в виливниці в ході експлуатації.

Одним з наукових напрямків підвищення стійкості виливниць може бути концепція «тризонної» структури, запропонована Ф.Н. Тавадзе й Д.Ф. Барбакадзе. Ними встановлене, що для забезпечення високої стійкості виливниць оптимальної є «тризонна» структура графітних включень у товщині стінки: у поверхневих внутрішніх і зовнішніх зонах стінки форма графітних включень повинна бути куляста. У середині стінки графіт повинен мати пластівчасту й частково пластинчасту форму. У перехідних шарах між зазначеними зонами, як показали дослідження, є графітні включення змішаної форми – кулястої й пластівчастої.

Металева основа матриці рекомендується ферито-перлітної ( до 30 % перліту). Дослідження впливу вмісту залишкового магнію в чавуні й залежної від цього форми графітних включень на механічні й експлуатаційні властивості матеріалу виливниць показали, що в міру збільшення його вмісту з 0,007 до 0,080 % стійкість досліджуваних промислових виливниць підвищилася з 42 до 117 наливів. Установлене, що для одержання «тризонної» структури заливання чавуну, обробленого магнієм, необхідно здійснювати при максимально можливій низькій температурі (1180-1200 °C) у сухій, підігрітій до

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

40-60 °C форми. Температура вибивки не повинна перевищувати 540 °C, тому що вище цієї температури чавун має високі пластичні властивості й може відповідно відбутися жолоблення виливниці при охолодженні.

Разом з тим, не можна не відзначити, що проблема одержання «тризонної» або «мультизонної» структури в стінках виливниці, на наш погляд, представляється технічно досить складною як у частині регламентування довжини кожної із заданих зон, так і в частині впливу на кінцевий результат обробки стану (структури й фізико-механічних властивостей) перехідних ділянок між зонами.

### 3.2.3 Застосування чавуну з вермікулярним графітом для виробництва виливниць.

#### Переваги чавуну з вермікулярним графітом

Чавун з вермікулярним (червоподібним) графітом (ЧВГ або CGI) має переважно феритну основу й має рядом специфічних властивостей, які висувають його в число нових перспективних конструкційних матеріалів для виливків різного призначення.

ЧВГ має в 2 рази більшу термостійкість, чому ЧШГ і в 6 раз більшу, ніж СЧ, що пояснюється його більш високою теплопровідністю й меншим рівнем термічних навантажень у порівнянні зі ЧШГ і меншою швидкістю поширення тріщин у порівнянні зі СЧ.

Можна припустити, що наявність невеликої кількості вермікулярного графіту в ЧШГ, мало впливаючи на його теплопровідність, може сприяти прискореному розвитку окремих тріщин і тим самим знижувати термічну стійкість чавуну [25].

По міцності ЧВГ перебуває на рівні високоміцних сірих чавунів (СЧ 30-СЧ40) або перевершує їх, однак пластичність, ударна в'язкість, окалино- і ростостійкість, опірність корозії, герметичність ЧВГ вище, чим у СЧ.

Теплофізичні властивості чавунів занесені в табл. 3.2

Таблиця 3.2.

Теплофізичні властивості чавунів в інтервалі 20—100 °C

Тип і марка чавуну	$\alpha \cdot 106, \text{ } ^\circ\text{З}^{-1}$	$c, \text{ Дж / (кг } ^\circ\text{З)}$	$\lambda, \text{ Вт / (м } ^\circ\text{З)}$
Сірий із пластинчастим графітом (ДЕРЖСТАНДАРТ 1412-85):	8,0—9,0	460—470 (586—628)	60,0-57,5
СЧ10 -СЧ18	9,5-10,5	480—525 (586—628)	54,0-46,0
СЧ20 -СЧ30	11-12	502—545 (628—670)	42,0—37,6
Чавун з вермікулярним графітом (ДЕРЖСТАНДАРТ 28394-89):			
ЧВГ30 -ЧВГ35	12—14	480—550	47,0—51,0



ЧВГ40 -ЧВГ45	12-14	480—550	37,0—41,0
Чавун з кулястим графітом (ДЕРЖСТАНДАРТ 7293-85):			
ВЧ 35-ВЧ45	11,5—12,5	460—502 (586—628)	37,6—46,0
ВЧ 60-ВЧ80	10,0—11,0	502—523 (628—670)	33,5—41,9
ВЧ100	9,0—10,0	523—565 (628—670)	29,3—37,6

ЧВГ перевершує високоміцний ЧШГ по здатності, що демпфірує, теплофізичним і деяким спеціальним властивостям (тепло- і температуропроводности, термоусталостной стійкості, розмірній стабільності в умовах теплосмен) (рисунок 3.5). ЧВГ більш технологичен, чому СЧ високих марок і ЧШГ. [26]. Усадка ЧВГ менше, чим усадка ЧПГ. ЧВГ має схильність до отбелу нижче, чим СЧ і ВЧ із кулястим графітом, і меншу, у порівнянні зі СЧ, чутливість до товщини стінок.

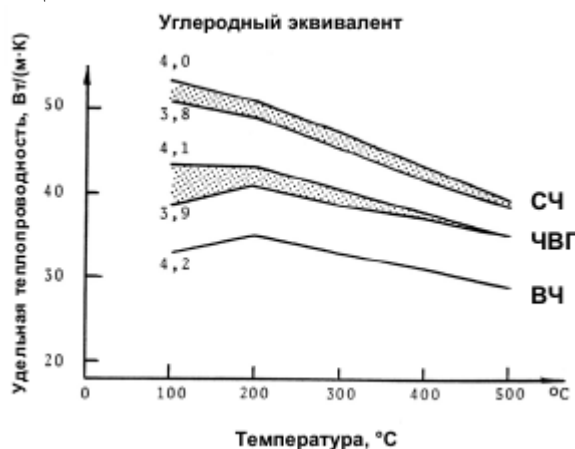


Рисунок 3.5. Порівняння теплопровідності СЧ, ЧВГ і ВЧ як функції робочої температури виливка

Слід зазначити, що оброблюваність різанням у чавуну з вермікулярним графітом значно краще, чим у сталі й високоміцного чавуну з кулястим графітом. Особливо ефективне використання ЧВГ для виливків великої маси й деталей складної конфігурації. При цьому виливка з ЧВГ на 20-25 % дешевше, ніж виливка з ковкого чавуну й ВЧ із кулястим графітом.

Механічні, фізичні (особливо теплопровідність) і ливарні властивості ЧВГ, зведені в табл. 3.3, суттєво залежать від кількості ШГ (рис 3.6), що утворюється одночасно із ВГ. При цьому, чим більше ШГ, тем вище  $\sigma_b$ , нижче  $\lambda$  і більше обсяг усадочних раковин  $W_p$ .

Таблиця 3.3

Залежність властивостей ЧВГ від вмісту ШГ у структурі металу

Відносна кількість ШГ (% від усієї площі, зайнятому графітом)	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\lambda$ , кал/(див*із°I 3)	$W_p$ , %
10-20	320-380	2-5	0,120-0,125	1,8-2,2
20-30	380-450	2-6	0,115-0,120	2,0-2,6
40-50	450-500	3-6	0,09-0,10	3,2-4,6

Оптимальна комбінація цих властивостей забезпечує ВГ із 20-30 % ШГ при составі: 3,5-3,6 %  $Zr$ , 2,4-2,6 %  $Si$ , 0,6-0,8 %  $Mn$ , 0,02-0,06 %  $P$  и 0,10-0,15 %  $RZM$ .

Збільшення вмісту глобулярного графіту в ЧВГ приводить до наступних ефектів



Рисунок 3.6. Вплив збільшення ступені шаровидності графіту на деякі властивості ЧВГ.

При цьому важливо відзначити, що ЧВГ зберігає високі показники механічних властивостей і у виливках з товстими стінками, що показано на мал. 3.7.

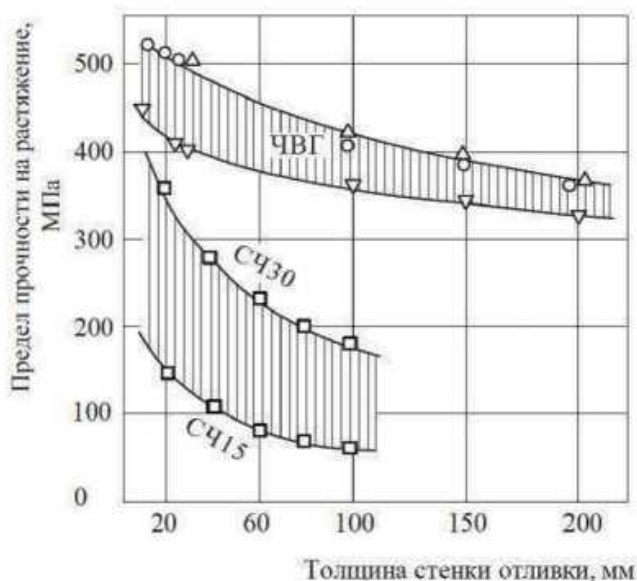


Рисунок 3.7. Вплив товщини стінки виливка на міцність чавуну з вермікулярним і пластинчастим графітом

Лінійна (вільна) усадка ЧВГ дорівнює лінійній усадці СЧ (близько 1 %).  $W_p$  в 1, 5-2 рази менше, чим у ЧШГ, і лише небагато перевершує  $W_p$  СЧ.

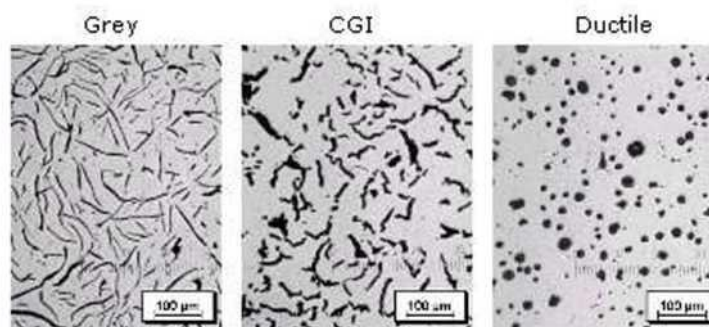
Властива для ЧВГ комбінація високих механічних властивостей і підвищеної теплопровідності робить досить перспективним застосування цього матеріалу для виливків, що працюють в умовах теплозмін і значного перепаду температур, що й спостерігається для виливниць.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

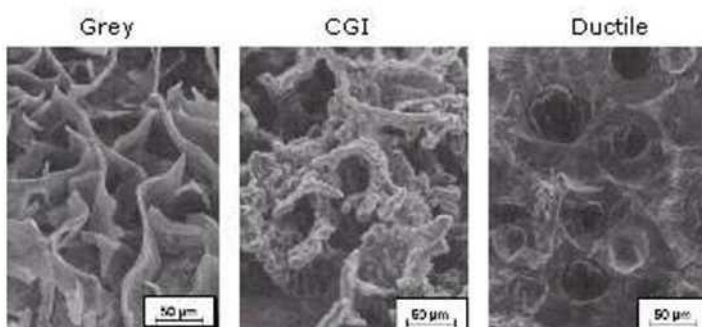
Переклад виливків зі СЧ на ЧВГ можливий без переробки моделей і литниково-живильної системи; однак для складних фасонних і малотехнологічних виливків необхідне застосування деяких більш ефективних заходів по живленню виливків із забезпеченням принципу спрямованого затвердіння.

### Структура ЧВГ

Вермікулярний графіт має форму взаємозалежних пелюсток, але на відміну від пластинчастого графіту пелюстки вермікулярного графіту мають меншу довжину, більшу товщину й округлу форму краєнок (рисунок 3.8). Відношення довжини пелюстки  $VG$  до товщини рівно:  $l/b = 2-5$ , а в ПГ більше 10. Різниця між трьома типами графіту в чавуні особливо помітна на тривимірні) мікрофотографіях, зроблених за допомогою електронного мікроскопа. Вермікулярна форма графіту займає як би проміжне положення між пластинчастою й кулястою



а



б

Рисунок 3.8.. Форми графіту в чавунах

У порівнянні зі СВ і ВЧ, хаотично переплетені компактні графітові "кластери" ЧВГ міцно закріплюються в металевій матриці. Ця форма графіту пригнічує зародження й поширення руйнування.

Вермікулярна форма графіту складається з менш пластинчастого графіту, ніж у сірому чавуні, що послабляє робочий перетин металеві основи й не виявляє на неї сильної надрізуючої дії, завдяки чому навколо включень графіту меншою мірою створюються концентрації навантажень, що знижує тріщиноутворення на ранніх стадіях.

У структурі ЧВГ завжди є деяка кількість ШГ, інший графіт округлої довгастої форми, особливо на кінцях включень, тому концентрація навантажень близько таких включень менше, чим у сірого чавуну, із чим і зв'язана поява пластичних властивостей (відносно подовження 2-5 %).

Специфічна комбінація фізичних, механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей досягається у ЧВГ за умови, що вміст вермікулярного графіту в структурі чавуну становить не менш 80-90 %, решта - кулястий графіт; пластинчастий графіт не допускається.

### **Особливості виробництва ЧВГ**

Чавун з вермікулярним графітом виплавляють із особливо чистих шихтових матеріалів, що містять малу кількість сірки. Як і в інших типів чавуну, структура металевої основи ЧВГ регулюється за допомогою легування й термічної обробки. Виробництво ЧВГ вимагає дуже твердого металургійного контролю, тому що вермікулярний графіт виходить у вузькому інтервалі місту модифікуючих добавок [27].

Основною проблемою одержання чавуну з вермікулярним графітом задовільної якості залишається проблема чутливості структури до товщини перетину виливка. Більшість ливарних заводів роблять оцінку структури виливків за допомогою наявних у наявності стандартних зразків для випробувань, однак, у випадку зі ЧВГ це чи навряд допоможе оцінити реальні властивості чавуну у виливку. Це, на жаль, відбувається тому, що якщо структура стандартного зразка й полягає на 100 % із графіту компактної форми, то більш тонкі перетини в реальному виливку можуть містити деяка кількість кулястого графіту, а в товстих перетинах можна виявити пластинчастий графіт. Тому, дуже важливо використовувати зразок, що відображає реальні перепади перетинів виливка й проводити його заливання максимально ідентично заливанню форм, про що часто забувають у реальних умовах ливарних виробництв.

Сьогоднішні виробники виливків зі ЧВГ і ті компанії, які тільки починають впровадження цього процесу використовують на практиці найбільш популярний у наші дні спосіб оцінки, а саме: по процентному вмісту кулястого графіту в матриці, припускаючи, що пластинчастий графіт у матриці відсутній. У цей час Міжнародна Організація по Стандартизації (ISO) створює новий стандарт, у якому структура буде класифікована по ступеню шаровидності графіту. Ідея класифікувати матеріал по небажаній характеристиці, якої і є ступінь шаровидності графіту, здається на перший погляд дивною, однак оскільки всі механічні й фізичні властивості були прив'язані до цієї характеристики, то й було ухвалене рішення створити стандарт на основі даного показника.

Виливки зі ЧВГ можуть бути зроблені при використанні кожного з наведених нижче методів обробки чавуну.

### **Модифікування барієм і кальцієм.**

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

При введенні комплексного модифікатора типу Fe-Si-Ba у розплаві утворюються високодисперсні включення, що впливають на виникнення в рідкому чавуні зародків кристалізації. Барій активно сприяє очищенню розплаву від домішок. Для ефективного очищення чавуну від домішок, що допомагає утвору в ньому ВГ і ШГ, у нього необхідно вводити 1,5-2,5 % суміші від маси розплаву чавуну.

При введенні в розплав силикобарія (більш 60 % від складу суміші, що модифікує) у чавуні можуть накопичуватися неметалічні включення, що знижують його властивості. Крім того, при введенні в розплав більш 60 % Si-Ba у структурі чавуну утворюється підвищена кількість графіту більших розмірів, що знижують його властивості. При додаванні в розплав менш 40 % SiBa не відбувається достатнього очищення розплаву чавуну від домішок.

Що втримується в силикокальції кальцій сприяє очищенню розплаву чавуну від домішок, а кремній - до утвору центрів кристалізації графіту, при цьому кальцій при підвищеній кількості приводить до отбелу чавуну. Уведення SiCa у розплав сприяє його рафінуванню від домішок і утвору в його структурі ВГ і ШГ.

При додаванні в чавун SiCa на його частках утворюється тугоплавкий шлаки з оксидів CaO, що знижує його засвоєння й потребує підвищеної його витрати. Тому при введенні у розплав чавуну більше 60 % SiCa від суміші, що модифікувалася, може відбуватися відбіл виливків й вони забруднюються його частками, що не засвоїлися, у вигляді шлаку, що погіршує їх властивості

Оптимальний склад суміші, що містить 40-60 % SiBa і 40-60 % SiCa (табл. 3.4). У складі зі вмістом SiBa більш 60% межа міцності й твердість чавуну зменшуюються внаслідок утворення в його структурі підвищених кількостей фериту й включень графіту великих розмірів, а склад зі вмістом SiCa більш 60 % приводить до зниження  $\sigma_b$  і різкому підвищенню НВ чавуну, що пов'язано з утвором пластинчастого графіту й цементиту в його структурі. Результати випробувань показують, що найкращі механічні властивості чавуну досягаються при введенні в його розплав суміші пропонованого складу в кількості 1,5-2,5 % від його маси, при якому співвідношення ШГ + ВГ повинне становити 40-60 %. При введенні в чавун менш 1,5 % суміші, що модифікує, не відбувається ефективного його очищення від домішок і утвору ВГ і ШГ, а більш 2,5 % суміші ( від маси розплаву) приводить до того ж через "перемодифікування".

Таблиця 3.4

Залежність структури й властивостей чавуну від складу суміші

Суміш	SiCa/ SiBa, %	Витрат а суміші %	Структура чавуну			Металева основа, (П/Ф/Ц)	Механічні	
			Форма ГВ, %	Співвідноше ння ГВ, %	Довжин а ГВ,		% $\sigma_b$ ,	НВ

1	30/70	2	ВГ + ШГ	90 + 10	90-180 45-90	90/10/-	372	180
2	40/60	2	ВГ + ШГ	87 + 13	45-180 15-90	96/4/-	390	195
3	50/50	2	ВГ + ШГ	80 + 20	45-90 15-45	100/-/-	520	238
4	60/40	2	ВГ + ШГ	95 + 5	45-90 15-45	100/-/4	494	276
5	70/30	2	ВГ + ПГ	85 + 15	45-90 45-90	100/-/10	364	303

Дослідження показали, що, застосовуючи модифікатори із Са й Ва, зокрема Siba і Sica у певному співвідношенні, можна одержати високоміцний чавун (зі ШГ і ВГ) марок ВЧ40, ВЧ50 без застосування модифікаторів, що містять Mg, Ре, Y. Розроблене модифікування, на відміну від традиційного, не приводить до піроефекту й димовиділенню, забезпечуючи екологічно чисте й дешевше виробництво такого чавуну [28].

### Модифікування РЗМ.

Міцносні характеристики ЧВГ ( як і його марка), за інших рівних умов, суттєво залежать від частки в його структурі ШГ. Наприклад, залишкові вмісти РЗМ у розплаві в інтервалі концентрацій 0,09-0,16 % забезпечують одержання в чавунах близького хімічного складу від 70 до 98 % ВГ, відповідно, часовий опір розриву при розтяганні від 300-350 до 400-450 Мпа.

Недоліком варіанта технології, що використовує РЗМ, за інших рівних умов можна вважати лише більшу ціну присадки (лігатури), що містить відносно дорогі РЗМ.

Модифікування Ре й Y у невеликих кількостях (0,03-0,1 %) сприяє графітизації, а в кількості 0,15-0,25 % приводить до одержання вермікулярного графіту й різкому підвищенню міцності й пластичності чавуну

Особливий інтерес представляє ітрії, який поставляється у вигляді різних сплавів: Yfe, Ysica і ін. Гарні результати виходять при застосуванні лігатури, що містить 30 % РЗМ, у тому числі 4,5 % Y, і 40-45 % Si. У цьому випадку вермікулярний графіт виходить у низькосернистому чавуні при введенні 0,5-0,7 % лігатури; але для усунення відбілу, як і у високоміцному чавуні з кулястим графітом, необхідно вторинне модифікування.

Ступінь засвоєння РЗМ підвищується зі зниженням температури обробки й зменшенням вмісту сірки в металі й коливається в більших межах (від 30 до 90 %). У всіх випадках слід мати на увазі, що при високому вмісті кальцію лігатура погано засвоюється чавуном при низькій температурі; лігатури ж з високим вмістом РЗМ не тільки дорогі, але часто відбілюють чавун.

Залежно від умов виробництва лігатуру можна вводити безпосередньо в тигель печі при 1350-1400 °С, на дно розливочного ковша або в струмінь металу при 1430-1450 °С із розрахунку одержання залишкового вмісту РЗМ у межах 0,10-0,15 %, у тому числі 0,02-0,06 % Ре. При цьому величина присадки

лігатури визначається кількістю в ній РЗМ і залежить від вмісту сірки у вихідному чавуні

Оптимальна величина присадки лігатури при вмісті сірки від 0,01 до 0,03 % становить 0,6-0,8 %.

При обробці лігатурою потрібно додаткове вторинне модифікування чавуну графітизуючими осадками, щоб придушити утвір у виливках ледебуриту або структурно-вільного цементиту. При використанні для цієї мети феросиліцію (ФС75) осадок залежно від евтектичності чавуну становить 0,3-0,8 % від маси металу.

Однак, не відомий жоден ливарний завод у світі, що робить виливки з ЧВГ у промислових масштабах із застосуванням цих способів.

### Модифікування комплексними модифікаторами

Характеристика комплексних модифікаторів наведена в табл. 3.5.

Таблиця 3.8

Состави лігатур, що містять магній для одержання ЧВГ

Тип лігатури	Химический состав, масс. %						
	Mg	РЗМ	Ti	Ca	Al	Si	Fe
CG-лігатура	4,0–5,0	(Ce)0,2–0,35	8,5–10,5	4,0–5,5	1,0–1,5	48–52	Ост.
Вермикуляр 1	2,2–2,7	5,0–7,5	3,5–5,5	–	–	Ост.	20
Вермикуляр 2	3,0–3,5	4,5–7,5	1,0–2,5	–	–	Ост.	20
Vermiloy	4,5–5,0	3,7–4,5	–	0,7–1,2	1,0–1,5	48–52	Ост.
Vermiloy 2	4,5–5,3	0,4–0,7	8–10	0,5–1,0	До 1,5	45–50	«
Vermiloy 3	4,5–5,3	0,4–0,7	8–10	4,5–5,5	До 1,5	45–50	«
Vermiloy 4	2,7–3,3	6,5–7,4	3,5–4,5	0,8–1,2	2,0–4,0	45–48	«
Vermiloy 5	4,7–5,3	5,5–6,4	3,5–4,5	0,8–1,2	2,0–4,0	45–48	«
Lamet	5,0–6,0	(La)0,25–0,4	–	0,4–0,6	0,8–1,2	44–48	«
Remag	2,75–3,5	1,75–2,5	–	0,2–0,5	1,0 max	44–48	«
CompactMag	5,0–6,0	5,5–6,5	–	1,8–2,3	1,0 max	44–48	«

### Обробка магнієм, титаном і РЗМ.

Відомі класичні способи одержання виливків зі ЧВГ, засновані на недомодифікуванні чавуну сфероїзаторами, які мають стійкість через надзвичайно вузькі межі залишкового вмісту магнію (0,015-0,025 %). Незначні осадки вермикуляризатора у вихідний розплав ведуть до утвору пластинчастих включень графіту, що чреваті різким зниженням міцностних властивостей, навпаки, підвищені - до сфероїдації графітних включень і появі дефектів осадочного походження у виливках.

Більшість хімічних складів модифікаторів, використовуваних у виробництві виливків зі ЧВГ, містять один або кілька деглобуляризаторів.

Хоча механізм впливу цих елементів на графітоутворення в достатній мірі не вивчений, однак помічено, що присутність титану в розплаві розширює область кристалізації ВГ у магнієвому чавуні [29].

Спосіб одержання чавуну з «контрольованим» ВГ запропонував Р.Д. Шелленг. Згідно із цією пропозицією, при зниженому вмісті Mg необхідно мати в чавуні певну кількість Ti. У структурі такого чавуну звичайно спостерігають переважно вермікулярні включення графіту, а інші - у вигляді сферолітів. Промислове виробництво виливків зі ЧВГ по методу було реалізовано обробкою вихідного електропічного розплаву спеціально розробленою лігатурою, склад якої зазначено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Хімічний склад лігатури

Mg, %	Ti, %	Ce, %	Ca, %	Al, %	Si, %	Fe, %
4-5	8,5-10,5	0,2-0,35	4,0-5,5	1,0-1,5	48-52	решта

При цьому, на думку розроблювачів лігатури, Ti частково нейтралізує сфероїдируючий ефект Mg, зв'язуючи його в стійкі хімічні сполуки, а Ca нейтралізує надлишок S за рахунок утвору більш стійкого сульфїду CaS.

Величина присадки цієї лігатури залежить від методу введення, температури рідкого чавуну й вихідного вмісту сірки [30].

Головним недоліком цього способу, крім порівняно високої вартості обробки розплаву, є винятково погана механічна оброблюваність виливків. Іншим немаловажним недоліком є потенційна небезпека забруднення повернення титаном, що виключає його застосування як при виробництві СЧ для запобігання формування структур переохолодженого графіту, так і високоміцних чавунів.

Ще один спосіб легування титаном і магнієм з додаванням церію й цирконію запропонували вчені з Мінська. Для вивчення спільного впливу де-і сфероїдизаторів на формоутворення графіту в синтетичний сплав Fe-C-Si вводили церій і титан, що показано на рис. 3.9, а.

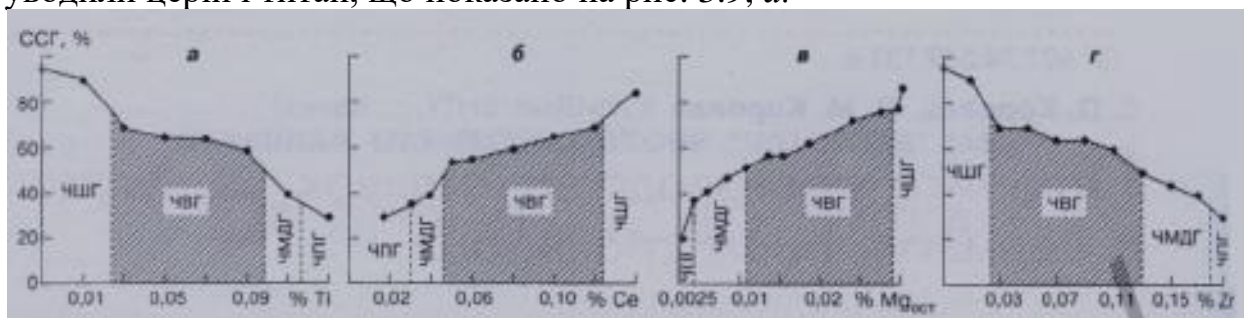


Рисунок 3.7 - Вплив присадок на ступінь сфероїдизації графіту (ССГ)

**а** - присадки титану в С-Si-Сплав, оброблений 12 % Се;

**б** - добавок церію в присутності 0,03 % Ti;

**в** - добавок магнію в присутності 0,03 % Ti;

**г** - присадки цирконію в сплав оброблений 0,12 % Се

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------



Кількість церію вибирали достатнім для формування більш 50 % кулястих включень від числа всіх включень графіту на площі шліфа (0,12 % до маси навішення C-Si-Сплаву). Зростаючі присадки титану закономірно знижували ступінь сфероїдизації графіту, тобто форма графітних включень змінювалася від кулястої до вермікулярної, далі - до колоній графіту переохолодженої евтектики й потім до крупнопластинчатих утворів.

Титан, уведений разом із церієм, розширює концентраційний інтервал утвору ВГ у синтетичному чавуні в порівнянні із присадкою чистого церію. Добавки чистого церію в синтетичний Fe-C-Si -сплав сприяють кристалізації графіту вермікулярної форми в межах 0,02-0,09 %. При наявності 0,03% Ті інтервал утвору ВГ трохи розширюється, зміщаючись у бік більших добавок церію (рисунок 3.9,б) і становить 0,05-0,13 %. Зсув інтервалу ВГ у бік більших концентрацій можна пояснити взаємодією титану з вуглецем. Зв'язуючи частину вуглецю, титан перешкоджає формуванню графітних включень вермікулярної форми при невеликих концентраціях церію.

Більш помітне розширення інтервалу формоутворення ВГ у синтетичному сплаві Fe-C-Si спостерігається при добавках титану до магнію. При добавках чистого магнію в синтетичний C-Si-Сплав ВГ утворюється в інтервалі 0,0084-0,016 %. Додаткове введення 0,03 % Ті розширює ці межі до 0,011-0,029 % (рисунок 3.9,в). Зсув інтервалу кристалізації ВГ у бік більших концентрацій магнію відбувається, імовірно, у результаті взаємодії титану з компонентами сплаву й зміни умов графітоутворення.

На відміну від титану поведінка цирконію в чавуні неоднозначна. Слід зазначити, що він характеризується підвищеною хімічною спорідненістю до сірки й газу. Дослідження показали, що вплив зростаючої кількості цирконію на ступінь сфероїдизації графіту в синтетичному сплаві Fe-C-Si евтектичного складу, попередньо обробленого церієм (0,12 % Ре), аналогічно дії титану. З мал. 3.9.г видна тенденція десфероїдизуючої дії цирконію в церієвому синтетичному чавуні. Однак він сприяє формуванню більш широкої зони ВГ у порівнянні з титаном [29].

У цьому зв'язку на основі застосування нових екологічно чистих методів введення присадок у рідкий чавун доцільно використовувати лігатури або присадки у вигляді модифікуючих сумішей, що містять Mg і РЗМ без десфероїдизаторів (ті і ін), що дозволяють здешевити техпроцес за рахунок заміни частини щодо дорогих РЗМ більш дешевим Mg і не виявляти негативного впливу на шихту за рахунок власного повернення.

Уведення до складу лігатур типу Fe-Si-Рзм або SI-MG-РЗМ деглобуляризуючих елементів, зокрема Ті, не може сприяти більш стабільному одержанню ВГ, а лише зажадає додаткової витрати РЗМ на їхню нейтралізацію. Крім того, при відсутності даних структурного й металографічного аналізу таких лігатур не можна представити, у якій формі й у яких хімічних сполуках можуть перебувати одночасно в лігатурі такі активні елементи, як Mg, РЗМ (Се) і Ті. З великою часткою впевненості на підставі вищевикладеного можна затверджувати, що в таких лігатурах частина РЗМ і

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

Ті буде перебувати у зв'язаному стані й представляти лише пошук баласт для участі у фізико-хімічних процесах взаємодії лігатури з компонентами чавуну [30].

Дослідження, проведені на чисті С-Si-Сплавах, отриманих на базі карбонільного заліза, монокристалічного кремнію й реакторного графіту в атмосфері аргону, дозволили експериментальним шляхом знайти оптимальну комбінацію активних елементів-вермікуляризаторів: магнію й РЗМ (церію, ітрію, лантану, неодиму, празеодиму) для формування вермікулярних включень графіту залежно від рівня сірки у вихідному розплаві.

Для створення ефективного комплексного модифікатора був розроблений спосіб виготовлення швидкоохолодженої структури, так званий «чіпс-модифікатор» на основі Фсмг, що має розміри 0,5-1,5мм x 10-25мм..

швидкоохолоджена структура комплексного модифікатора дозволяє їй засвоюватися розплавом чавуну при більш низьких температурах (приблизно 1200 °С), чому традиційні кускові модифікатори типу ФСМг. Комбінація більшої кількості природно окиснених активних елементів (Mg+РЗМ) і елементів-стабілізаторів у складі комплексних швидкоохолоджених «чіпс-модифікаторів» дозволило збільшити час «живучості», тобто зберегти ефект вермикуляризуєщої обробки до 25-30 хв.

Крім того, у порівнянні з кусковими модифікаторами, «чіпс-модифікатор» має такі переваги:

- питома витрата менше на 10-15%;
- процент засвоювання кускового модифікатора становить  $\approx 40\%$ , засвоювання "чіпс"-модифікатора становить  $\approx 60-70\%$ ;
- можливість ковшевого модифікування чавуну при порівняно низьких температурах (1380 - 1400 °С);
- можливість застосування як для ковшевого, так і внутрішньо-форменого модифікування.

### **Модифікування Compactmag.**

Модифікатор *Compactmag* компанії «ЭЛКЕМ» проводиться на основі ФС45 і містить 5-6 % магнію й 5,5-6,5 % РЗМ. Він не містить елементів, що негативно впливають на мікроструктуру (таких як, наприклад, титан) і при цьому забезпечує високу технологічність процесу в складі будь-якого ливарного виробництва.

РЗМ впливають на чутливість мікроструктури до товщини перетину виливка, мінімізуючи відмінності структур у тонких і товстих перетинах. Крім цього, високий вміст РЗМ у модифікаторі дозволяє легко контролювати процес обробки в порівнянні зі звичайним Фсмг або магнієм, що забезпечує одержання заданих ступенів засвоєння елементів з модифікатора.

На рисунку 3.8 наведені приклади мікроструктур, отриманих з використанням навішення 0,35 % стандартного модифікатора типу ФСМг (6 % Mg, 1 % РЗМ) і модифікатора *Compactmag*. Зі світлин мікроструктур видно,

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

що перетин виливка товщиною 5мм, отриманої з використанням стандартного Фсмг, в основному містить графіт кулястої (глобулярної) форми, у той час як мікроструктура перетину товщиною 35 мм тому ж самого виливка являє собою, головним чином, структуру сірого чавуну

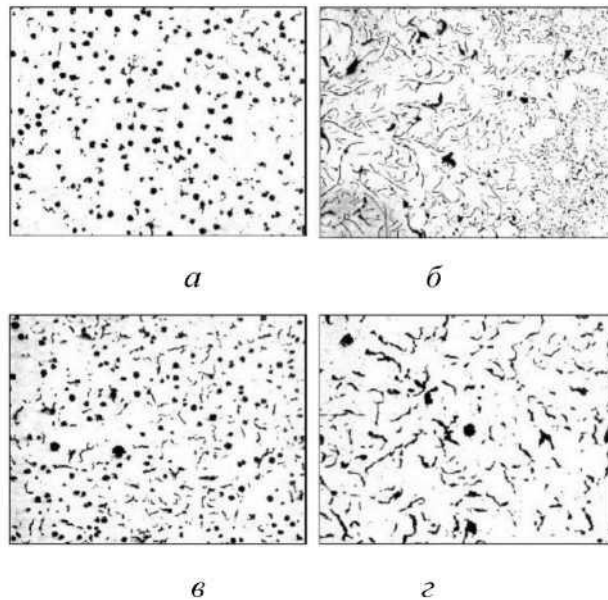


Рисунок 3.8 - Приклад порівняння методу обробки розплаву: *а й б* - обробка ФСМг; *у и г* - обробка *Compactmag*

Навішення ж модифікатора *Compactmag* в обсязі 0,35 %вага забезпечує формування переважно графіту компактної форми в обох перетинах, хоча неминуче більша кількість глобулярного графіту виявляється в перетині товщиною 5 мм. Даний факт підтверджує низьку технологічність обробки розплаву заниженим навішенням магнію за допомогою стандартних марок Фсмг.

У табл. 3.7 наведене порівняння властивостей виливків, отриманих на ливарному заводі, який використовував два способи обробки розплаву: ФСМг+Ті і модифікатор *Compactmag*.

Таблиця 3.7

Порівняння механічних властивостей СЧ і ЧВГ

Властивості	СЧ (ISO 100)	ЧВГ (оброблене ФСМг+Ті)	ЧВГ (оброблене Сошрае1Ма§)
Границя текучості, МПа	-	290	330
Межа міцності на розрив, МПа	100 хв	365	380
Відносне подовження, %	0,5	4,5	5

У першому випадку навішення становили 1,3 % ФСМг і 0,5 % Feti, а при другому варіанті використовували тільки навішення 0,35 % модифікатора *Compactmag*. Обробку здійснювали в ковші «сандвіч» процесом.

Були відзначені кращі значення границі текучості й межі міцності на розрив. Крім того, менша величина навішення модифікатора *Compactmag* дозволила не тільки одержати значну економію собівартості виливка за

рахунок зниження витрат на модифікування, але й сприяло формуванню меншої кількості шлаків [33].

Застосування модифікатора дозволяє одержати істотну економію за рахунок зниження вартості обробки. Так, при обробці розплаву магнієм і титаном навішення представлених на ринку звичайних марок Фсмг може становити порядку 1-2 %. Використовуючи альтернативний варіант заниженого навішення Фсмг ( без застосування титану), цей показник становить у середньому 0.5-1.0 %вага. І хоча економіка процесів суттєво варіюється стосовно до умов різних ливарних підприємств, приклад порівняльної вартості обробки базового чавуну на ЧВГ, представлений у табл 3.8, може говорити сам за себе.

Таблиця 3.8

Порівняння вартості обробки чавуну різними методами.

Варіант обробки 1	Вартість, \$	Варіант обробки 2	Вартість, \$
1,3 % Mgфesi	13,00	0,35 % СОМРАСТМАG™	5,00
0,25 % Feti	6,00	-	0,00
0,3 % графітизатор	5,00	0,2 % графітизатор	3,00
Разом:	24,00	Разом:	8,00

З наведених прикладів випливає, що в цей час з'явився більш ефективний і комерційно прийнятний метод виробництва виливків зі ЧВГ, що володіє рядом переваг у порівнянні з «традиційними» способами, а саме:

- Виключення забруднення повернення титаном;
- Повернення ЧВГ можна змішувати з поверненням ВЧ без негативних наслідків;
- Мале навішення СОМРАСТМАG™ дозволяє збільшувати вміст кремнію (Si) у печі, що у свою чергу, веде до збільшення терміну служби футеровки;
- Низька потреба надалі у графітизуючому модифікуванні;
- Малий вміст залишкового магнію й РЗМ у кінцевому чавуні, що зменшує схильність до відбілу
- Формування мінімальної кількості шлаків і дросса;
- Поліпшується механічна оброблюваність лиття через відсутність твердих часток карбідів і карбонітридів титану;
- Застосування в більш широкому діапазоні припустимих вмістів сірки;
- Більш низькі витрати на модифікування;
- Більша гнучкість процесу;
- Менша чутливість до товщини перетину виливка;
- Розплав після обробки може витримуватися в ковші до 15 хв. без яких-небудь негативних наслідків, викликаних «старінням» модифікуючого ефекту.
- Відсутність яких-небудь ліцензійних платежів при використанні модифікатора СОМРАСТМАG™.

### 3.3. Підготовка чавуну до модифікування

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

Крім вибору модифікатора й адекватного процесу обробки базового чавуну ливарним підприємством необхідно враховувати й деякі інші фактори для забезпечення рентабельного виробництва виливків зі ЧВГ високої якості. До таких важливих факторів ставляться:

- стан базового чавуну
- підготовка базового чавуну
- графітизуюче модифікування

Перераховані фактори прямо впливають на величину відбілу, схильність вилівка до усадочних тенденцій, структуру і її чутливість до товщини перетину вилівка.

Як і при виробництві якісних виливків із ВЧ важливим фактором досягнення успіху в одержанні ЧВГ є попередня підготовка базового металу до наступної обробки. Безсумнівно, процеси правильної первинної обробки розплаву магнієм і наступне графітизуюче модифікування важливе, але найчастіше багато підприємств дарма витрачають модифікатори й час, намагаючись скорегувати чавун після завершення його обробки на ЧВГ, коли це можна робити перед модифікуванням і розливанням по формах.

Говорячи в цілому, необхідно обробляти базовий метал наступного складу (хоча можливі різні відхилення від рекомендованих параметрів для чавунів спеціального призначення, наприклад):

- 3.5-3.8 % вуглець
- 1.9-2.5 % кремній(кінцевий вміст залежить від способу одержання ЧВГ)
- 0.007-0.015 % сірка
- 0.03 % макс. фосфор

Вміст інших елементів міні важливо, хоча, у цілому, не повинне значно перевищувати межі, установлені для високоміцних чавунів. Говорячи в цілому, припустимий підвищений вміст перліт і карбід стабілізуючих елементів, якщо рівень сірки в базовому чавуні досить низький, а навішення модифікатора, наприклад, СОМРАСТМАГ™ не перевищує 0.40 % ваги.

Критичним фактором при виробництві ЧВГ є підтримка низького рівня вмісту сірки в базовому чавуні. Надлишкова сірка буде реагувати з, що втримуються в модифікаторі магнієм (Mg) і церієм (Ce), що знизить ефект від Mg/PЗМ, наслідком чого відбудеться збільшення кількості пластинчастого графіту в структурі. З іншого боку, якщо вміст сірки дуже мало, те метал, оброблений Mg/PЗМ, буде дуже важко відгукуватися на наступне графітизуюче модифікування й буде схильний до формування карбідів заліза (відбілу), особливо в тонких перетинах.

Говорячи в цілому, чим вище вміст сірки в базовому металі, тим більше модифікатора буде затребувано для десульфурзації металу перед тем, як почнеться властиво процес формування вермікулярного графіту. Можливо одержати ЧВГ гарної якості й при рівні вмісту сірки в базовому чавуні на рівні 0.02%, але при цьому процес стає важкоконтрольованим, а результати обробки - непередбаченими.

					Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	

Після обробки склад чавуну повинен перебувати в наступних межах:

- 3.3 - 3.6 % вуглець
- 2.0 - 2.5 % кремній
- 0.005 - 0.012 % сірка ( найбільш оптимальний варіант)
- 0.003 - 0.015 % магній
- 0.005 - 0.015 % церій

Як правило, вміст магнію й церію в чавуні після обробки розплаву повинне бути однаковим.

Також рекомендується підтримувати низький вміст вуглецю й кремнію, тому що це забезпечить більш якісне модифікування, хоча й може знадобитися проведення вторинного графітизуючого модифікування. Дослідження показали, що кількість кулястих включень графіту збільшується з підвищенням вмісту кремнію й ставало неможливим одержання структур графіту компактної форми необхідного якості.

На більшості підприємств використовують однакову шихту для одержання ВЧ і ЧВГ. Однак слід зазначити, що малі навішення модифікаторів СОМРАСТМАГ™ і Foundrisil® Inoculant (у якості захисного покриття основного модифікатора) можуть привести до того, що буде необхідне введення додаткової кількості кремнію в базову шихту.

На деяких підприємствах проводиться попередня обробка базового чавуну для створення однакових умов перед кожним модифікуванням. Така попередня обробка полягає в контрольованому введенні в чавун сірки й/або кисню.

Самі успішні ливарні підприємства в цей час визначають вміст активного кисню в базовому чавуні за допомогою аналізаторів і підтримують його на рівні 50-80 ppm від загального вмісту кисню. На основі такого аналізу можна встановити чіткий взаємозв'язок між якістю модифікування на ЧВГ і рівнем вмісту кисню в базовому чавуні. Якщо базовий вміст кисню нижче наведеного рівня, то в розплав необхідно ввести джерело кисню у вигляді з'єднання малої стабільності, щоб повернути рівень вмісту кисню в зазначений діапазон.

Найбільш популярним матеріалом виробництва компанії «Елкем» для попередньої обробки чавуну є графітизуючий модифікатор Ultraseed® Inoculant, який забезпечує розплав киснем і іншими елементами, що формують зародки для наступної кристалізації графіту на цій важливій стадії процесу. Звичайно, він уводиться на струмінь металу при його переливі з печі в ківш із кришкою або будь-який інший ківш, де проводиться основна обробка розплаву. Однак необхідно проявляти обережність, оскільки проведення попередньої обробки базового чавуну може сприяти формуванню такої кількості центрів кристалізації графіту, яке сформує надлишкову кількість глобулярного графіту в структурі.

Необхідно відзначити, що при використанні Mg/PЗМ утримуючого модифікатора СОМРАСТМАГ™ реакція протікає спокійно в порівнянні з рядовою обробкою Фсмг на ВЧ і серйозного негативного впливу на потенційні центри, що сформувалися, кристалізації графіту не спостерігається.

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

Залежно від типу виливка й способу лиття розплав після обробки модифікатором СОМРАСТМАГ™ і з використанням захисного покриття з Foundrisil® можна витримувати від 5 до 20 хв без негативних наслідків для мікроструктури. У результаті численних випробувань було також відзначено, що температура обробки в інтервалі 1400 - 1520 °С не виявляє негативного впливу на мікроструктуру виливків. Однак для всіх виливків необхідно пам'ятати, що вибір модифікатора для проведення вторинного графітизуючого модифікування необхідно вибирати, ґрунтуючись на температурі заливання розплаву.

### **Контроль процесу виробництва ЧВГ**

На те, у якій формі буде кристалізуватися графіт у результаті обробки розплаву, впливає не тільки вміст залишкового магнію, але також металургійний статус базового чавуну (або, інакше кажучи, якість базового чавуну). Особливо важливі такі параметри, як: потенціал зародкоформування, загальний рівень окисленості розплаву, вміст сірки, азоту й активний вуглецевий еквівалент (ACEL). Спектральний хімічний аналіз чавуну недостатній. Він тільки показує кількість кожного елемента, але не говорить нічого про металургійний статус чавуну.

Для гарантії одержання виливків з високоякісного ЧВГ необхідно використовувати системи контролю металургійних процесів.

Система контролю над процесом виробництва виливків зі ЧВГ використовує комбінацію вдосконаленого кількісного термічного й хімічного аналізів для визначення металургійного статусу базового чавуну. Ґрунтуючись на результатах аналізу, система видає рекомендації про те, як треба обробити базовий чавун для того, щоб довести його металургійний статус до заздалегідь певних величин. Як тільки параметри базового чавуну виявляться в заданих межах, система розраховує необхідне навішення модифікатора. Видавані рекомендації тим самим оптимізовані під конкретну плавку. Використовуючи дані рекомендації можна провести кілька обробок чавуну доти, поки використовується чавун однієї плавки.

					КНУ РМ.136.24.544с-04.03 МВ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

## 4. Удосконалювання технології виробництва й способу підвищення стійкості виливниць

### 4.1. Досвід виробництва виливниць із ЧВГ

ЧВГ по своїх властивостях вдало поєднує в собі позитивні якості ЧШГ і СЧ і є найбільш кращим матеріалом для виготовлення виливків працюючих в умовах постійних теплових і потребуючих високих містностних характеристик. ЧВГ також як і ЧШГ характеризується меншими величинами росту й відповідно більш високою жаростійкістю в порівнянні зі СЧ.

Технології одержання ЧВГ у країнах СНД, як правило, ґрунтувалися на способі «недомодифікування» вихідного чавуну модифікаторами, призначеними для одержання чавуну з кулястим графітом (ЧШГ), типу Фсмг.

Однак цей варіант виробництва нестабільний з ряду причин, починаючи від природніх коливань хімічного складу шихтових матеріалів (чушkových ливарних і передільних чавунів, чавунного й сталевого лома й ін.), феросплавів і «влучення» в оптимальну кількість, що додається сфероїдируючого модифікатора. Ускладнює цю проблему той факт, що основним плавильним агрегатом на більшості виробництв дотепер є коксова вагранка, а отже – високий вміст сірки й недостатній температура.

Однак, є досвід виробництва глухонних сталерозливних виливниць прямокутного перетину масою 2,7 т і середньою товщиною стінки 100 мм зі ЧВГ, отриманого модифікуванням «чїпс-модифікатором» типу Vermiloy [31].

Також проводяться роботи із впровадження технологічного процесу виробництва виливниць масою 5,6 т при товщині стінки 120 мм для 7-мм заготовочних злитків залізничних коліс в умовах ЧЛЦ ВАТ «Виксунський металургійний завод» (Нижегородська область).

З 2001 року для виготовлення чавунних виливниць зі ЧВГ на ВАТ «Чусовській металургійний завод» застосовується комплексний модифікатор марки Vermiloy, оскільки:

- модифікатор має низьку температуру плавлення;
- ефект, що модифікує, зберігається протягом 30 хвилин;
- процес модифікування проходить із мінімальним піроефектом і димовиділенням.

Хімічний склад вихідного чавуну був наступним: вуглець - 3,4-3,6 %, кремній - 1,75-2,0 %, марганець - 0,5-0,65 %, хром - до 0,1 %, титан - до 0,1 %, сірка - 0,02-0,03 %.

					КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ			
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Зайцев В.С.			<b>Удосконалювання технології виробництва й способу підвищення стійкості виливниць</b>	Лит	Лист	Листов
Пров.		Сайтгареев Л.Н						
Т. контр.						ЛВ-23м		
Н. контр.		Сайтгареев Л.Н						
Утв.		Савельев С.Г.						



Температура чавуну перед модифікуванням становила 1260-1320 °С (на ринві вагранки).

Результати випробувань показали, що при низьких температурах (1260-1320 °С) модифікування можна одержувати вермікулярну форму графіту в чавуні при витраті модифікатора 1,0-1,4 % до маси оброблюваного металу [32].

Дослідно-промислова партія виливків "Виливниця" у кількості 210 штук виготовлялася з таких основних шихтових матеріалів:

- бій виливниць-50%;
- ливарний привізний чавун.- 50%.

При відсутності ливарного привізного чавуну 2 плавки (39 виливниць) вони відливалися з такої шихти:

- бій виливниць-50%
- легований напівпродукт. -50%

Період природнього старіння виливниць склав 3 місяця. Виливниці відбраковані по наступних дефектах:

- раковина – 29 шт., у середньому пройшли по 127 наливів, що відповідає 10,4кг/т,
- тріщина по грані – 126 шт., у середньому - по 65 наливів - 20,4 кг/т;
- тріщина по куту - 48 шт., у середньому - по 73 наливу - 18,2 кг/т;
- загнута цапфа - 3шт., у середньому - по 68 наливов - 19,5кг/т;
- не ідентифіковано - 4шт.

Середня витрата по досвідченій партії виливниць склав 16,8 кг/т., що нижче середньорічної витрати виливниць майже на 50%.

У якості основних шихтових матеріалів промислової серії виливниць використовуються:

- бій виливниць - 50%
- напівпродукт углеродистий - 50%

Технологічний процес виробництва виливниць зі ЧВГ стійкий. Ливарний брак перебуває на рівні середньомісячного браку лиття виливниць із сірого чавуну й становить 3%.

Металографічні дослідження зразків, висвердлених з тіла виливниць, показують стабільне, рівномірне формування вермікулярного графіту у феритній металевій матриці (80. ..85% фериту й 15. ..20% перліту) за ДСТ 3443-87. Межа міцності при розтяганні ( $\sigma_v$  перебуває в межах 350-400 МПа.

При виливу наскрізних сортових розширених донизу виливниць і досягненні в структурі чавуну вермікулярного графіту із залишковою концентрацією магнію 0,006-0,025 % стійкість виливниць зростає, принаймні, на 30 %.

В умовах ливарного заводу ЗАТ «Петрозоводскмаш» з високоміцного чавуну з вермікулярним графітром відливалися виливниці масою 11-16 тонн для ковальських злитків.

При виготовленні виливниць зі ЧВГ у шихті використовувалося 30...50% сталевого лома, що категорично заборонено при відливу виливниць з СЧВ (сірий чавун для виливниць).

					КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

Виливниці зі ЧВГ35 мають на 30...50% більш високу експлуатаційну стійкість, чому виливниці з електропічного СЧИ

Вирішуючи завдання скорочення тривалості охолодження в ливарній формі виливків великих (масою до 100 т) виливниць, розроблена нова конструкцію ливарної форми з регульованим охолодженням центрального стрижня. Прискорене охолодження виливниць у ливарній формі шляхом інтенсифікації тепловідводу із центрального стрижня дозволяє:

- управляти процесом формування структури металу виливка,
- скоротити (на 30...40%) час охолодження виливка в ливарній формі,
- побільшати продуктивність формовочно-заливальної ділянки,
- знизити залишкові напруги у виливку за рахунок рівномірного відводу тепла від зовнішніх і внутрішніх стінок,
- зменшити трудомісткість обрубних робіт за рахунок зміцнення стрижневої суміші й зменшення пригару на внутрішній робочій поверхні виливниці.

Таким чином, застосування ЧВГ для виробництва сталерозливних виливниць дозволяє підвищити їхню стійкість в 1.3-1.5 рази

#### 4.2. Удосконалена технологія виробництва виливниць

Основні вимоги до ливарної технології для можливого бездефектного виробництва виливків «виливниця»:

- Відсутність газовиділення формувальних і стрижневих матеріалів при заливанні форми металом.
- Твердість стрижня під час первинної кристалізації металу й піддатливість стрижня в процесі подальшого охолодження й усадки тіла виливка.
- Вільне видалення формувального й стрижневого матеріалів з виливка без застосування механічних або пневматичних способів очищення.
- Висока чистота й геометрична точність поверхонь виливка, особливо робочої частини.
- Заливання металу в закриту форму.

Пропонована технологія одержання виливків «Виливниця» з використанням методу вакуумно-плівкового формування (ВПФ) для виробництва форм і стрижнів, дозволяє максимально врахувати перерахованих вище аспекти.

Сутність технології вакуумно-плівкового формування (V-Процес), полягає в тому, що форму й стрижень виготовляють із сухого формувального наповнювача (піску) без сполучних із застосуванням синтетичної плівки, при створенні розрядження в обсязі піску, для одержання точної копії виливка в ливарній формі.

Завдяки застосуванню дрібного піску й вакууму, при виготовленні форм і стрижнів, виливки виходять із більш високою розмірною точністю й чистотою поверхні, у порівнянні з існуючими технологіями. Відсутність сушіння, випари або згоряння сполучного, а також можливість компенсації температурного розширення піску за рахунок значного обсягу порожнеч між зернами (30-40%) знижує можливу деформацію стінок вакуумної форми й

					КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

стрижнів у порівнянні із традиційними способами формування. Крім того, точність збереження геометричних розмірів при V-Процесі забезпечується високою міцністю форми й стрижня (92-95од).

Можливість регулювання твердості форми й стрижня в процесі остигання вилівка, шляхом зниження рівня розрядження в них, дозволяє створювати необхідну піддатливість наповнювача не перешкоджаючи природній усадці вилівка.

Відмінність у механічних властивостях і структурі чавуну в порівнянні з литтям у звичайні форми, визначаються різницею у швидкості охолодження металу. Процес остигання вилівка у формі, виготовленої з використанням методу вакуумно-плівкового формування, через низьку теплопровідність сухого піску, відбувається повільніше в 1.2-1.5 раз, що створює умови для зниження навантажень у вилівку й підвищує в'язкість її матеріалу, що підвищує її стійкість проти утвору тріщин на її робочій поверхні. При необхідності швидкого охолодження вилівка у формі, або регулювання її швидкості охолодження, використовують методи прискореного відводу тепла, за рахунок зниження шару піску навколо вилівка й шляхом створення потоку холодних газів в обсязі форми, що дозволяє значно прискорювати час її охолодження.

Заливання таких форм при вакуумно-плівковому формуванню, може відбуватися як при горизонтальному її розташуванні, так і під нахилом, що дозволить металу перебувати у формі приблизно на одному рівні й максимально вирівнювати механічні характеристики матеріалу по всьому обсягу вилівниці. Крім того, при такому способі заливання металу у форму, підживлення тіла вилівки буде здійснюватися через прибуток, при цьому буде знижений обсяг механічної обробки верхньої частини вилівниці й витрата рідкого металу на неї.

Для розуміння процесу одержання ливарної форми по V-Процесу, на прикладі вилівка «Вилівниця», розглянемо основні технологічні етапи її виробництва:

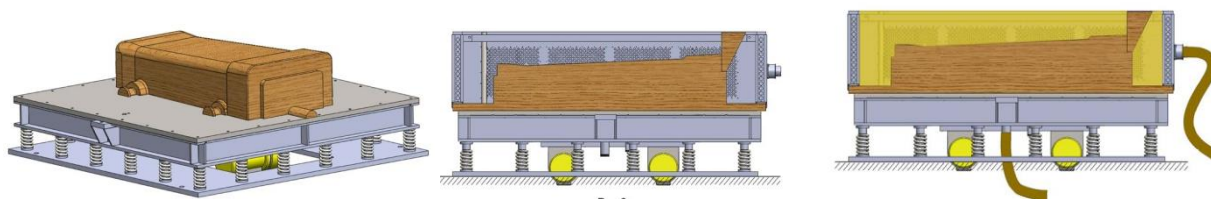


#### 1. Виготовлення напівформи верху й низу

- Підключення вакууму до вакуумних камер формувальних установок, облицювання моделей синтетичною плівкою, нанесення й сушіння протипригарного покриття.
- Установка опоки, заповнення опоки формувальним піском, зміцнення піску за допомогою вібрації, підключення вакууму до опоки, укладання плівки на контрлад.

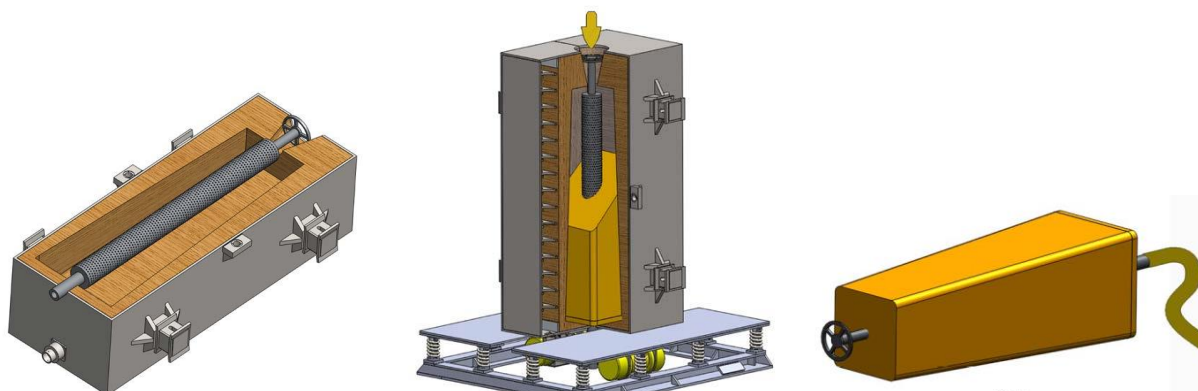
										Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ					

- Відключення вакууму від вакуумних камер, знімання напівформ із моделей.



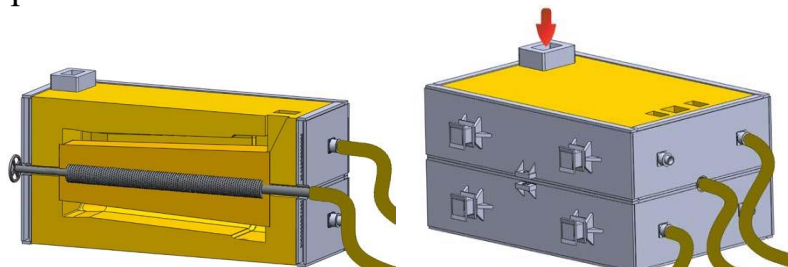
## 2. Виготовлення стрижня при використанні стрижневих ящиків з вакуумними камерами.

- Облицювання стрижневих ящиків синтетичною плівкою, нанесення й сушіння протипригарного покриття.
- Складання двох частин стрижневого ящика з установкою внутрішнього фільтра.
- Завантаження формувального піску в стрижневий ящик, ущільнення піску вібрацією, підключення вакууму до внутрішнього фільтра.
- Відключення вакууму від вакуумних камер стрижневих ящиків, розкриття стрижневих ящиків, видалення готового стрижня.



## 3. Складання й заливання форми металом:

- Установка стрижня на напівформу низу, установка напівформи верху, скріплення напівформ.
- Заливання форми ЧВГ.



Про можливість використання стрижнів, виготовлених методом вакуумно-плівкового формування і їх перевагах перед традиційними стрижнями, відомо давно, хоча про практичне застосування таких стрижнів у

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

виробництві, особливо при серійному й крупносерійному виробництві, достовірній інформації немає.

Використання V-Процесу при виробництві виливків «Виливниця» дасть можливість підвищити стійкість виливниці в 1.1-1.3 рази за рахунок:

- зниження внутрішніх напружень у металі;
- значного скорочення мікротріщин на робочій поверхні виливків;
- підвищення розмірної точності одержуваних виливків;
- підвищення чистоти поверхні виливків;
- підвищення термостійкості робочої поверхні виливків;
- підвищення в'язкості внутрішньої частини металу виливків;
- більш високої хімічної однорідності металу;
- вирівнювання механічних характеристик металу по всьому обсягу виливниці;
- зниження кількості механічних включень частин форми й стрижня у виливках;
- зниження газових раковин і пористості матеріалу у виливку;
- більш високої щільності чавуну.

Крім того, впровадження даної технології дозволить:

- знизити час на виготовлення й складання форм (не менш чому в 2 рази);
- виключити операцію по сушінню форм і стрижнів;
- суттєво скоротити час на вибивку форм і очищення виливків від залишків формувальної суміші (при відключенні вакууму форма розсипається);
- багаторазово підвищити стійкість модельно-опочного оснащення (формувальний матеріал не контактує з поверхнею оснащення й не зазнає механічному ущільненню);
- знизити обсяг безповоротних відходів формувального піску (втрати піску за один цикл становлять 2-3% від загальної маси);
- знизити витрати на регенерацію піску;
- знизити обсяг механічної обробки виливків до одержання готового виробу;
- скоротити витрату рідкого металу на виливок (залиття металу в закриту форму із прибутком знижує обсяг рідкого металу, у порівнянні з обсягом металу у відкритій формі, на 5-10%);
- багаторазово знизити обсяг викидів газів в атмосферу, за рахунок застосування сухого піску без сполучних.

При цьому одержуємо більш високу щільність матеріалу (чавуну), що поліпшує теплопровідність стінок виливниці, що впливає на швидкість охолодження одержуваних у ній злитків.

Орієнтовний розрахунок ефективності виготовлення великогабаритних виливків «Виливниця» по V-Процесу, проведений для одного з металургійних комбінатів, у порівнянні з існуючим методом виготовлення, показав окупність усіх витрат на його впровадження за 1,5-2 роки.

#### **4.3 Зниження ливарних і залишкових навантажень в виливницях при віброобробці**

					КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

Проблема підвищення стійкості виливниць повинна вирішуватися не тільки на стадії вибору матеріалу й виготовлення виливниць, але також і безпосередньо при їхній експлуатації. Відомо, що виливниці працюють у дуже тяжких умовах, а основними причинами виходу виливниць із ладу є різного роду тріщини, які, властиво, являють собою відбиття їх внутрішнього напруженого стану. Отже, заходу, спрямовані на зниження в виливницях внутрішніх напружень, представляють значний практичний інтерес, тому що вони впливають на стійкість і ефективність роботи.

По суті, усі внутрішні напруження, які можуть виникати в виливниці, залежно від походження можна умовно розділити на ливарні й експлуатаційні. Ливарні виникають при затвердінні вилівка і її охолодженні. Експлуатаційні напруги формуються при роботі виливниць за рахунок нерівномірного нагрівання окремих їхніх зон і обсягів, швидкої зміни температури в стінці виливниці в процесі заливання сталі, ударів і механічних ушкоджень при добуванні злитків і т.п.

Найпоширенішим методом зниження ливарних навантажень є термообробка, яка заснована на тому, що при нагріванні вилівоків до високих температур забезпечується зменшення пружних деформацій за рахунок розвитку пластичних. Разом з тим, використання термічної обробки для зняття внутрішніх напружень у чавунних виливницях представляється досить проблематичним з погляду високих витрат в умовах діючих ливарних цехів. Тому більш перспективним методом у цьому випадку слід уважати метод вібраційного старіння, заснований на стабілізації напруженого стану тіла за рахунок повідомлення йому деякого енергетичного імпульсу (енергія коливання).

Рівень експлуатаційних навантажень в виливниці може сильно змінюватися в процесі експлуатації залежно від об'єктивних (конструкція й матеріал виливниці) і суб'єктивних (механічні удари й ушкодження, цикл експлуатації) факторів.

Для розробки ефективної технології зняття внутрішніх напружень в виливницях необхідно мати уявлення про характер нагромадження цих навантажень у процесі експлуатації. Для цього необхідно розв'язати наступні основні питання:

- вибір методу й відпрацювання методики кількісного визначення внутрішніх напружень із урахуванням можливої зміни фізичних властивостей чавуну в процесі експлуатації;
- вивчення особливостей напруженого стану виливниць перед початком їх експлуатації (після виготовлення);
- вивчення характеру нагромадження внутрішніх напружень в виливницях у процесі експлуатації.

При виборі методу виміру внутрішніх напружень у стінках виливниць передбачається, що він повинен забезпечувати оперативний і порівняно надійний вимір величини навантажень без яких-небудь механічних руйнувань виробу. Такого роду вимогам цілком задовольняє широко відомий у літературі спосіб неруйнуючого контролю внутрішніх напружень, заснований на

					КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

використанні магнітоупругого ефекту, суть якого зводиться до використання взаємозв'язку між напруженим станом матеріалу і його магнітними властивостями.

Найбільш суттєвим недоліком вимірів такого роду є порівняно низька відтворюваність результатів, яка багато в чому залежить від якості підготовки поверхні. Разом з тим при обов'язковому механічному зачищенні робочої поверхні з наступним кислотним протравлянням верхнього шару (з метою видалення наклепу) точність вимірів, як показали дослідження, виявляється цілком прийнятною (відхилення не перевищують 12-15%).

Для вібраційної обробки виливниць використовували спеціальний комплекс устаткування, що включає електромеханічний вібратор, перетворювач частоти й контрольно-вимірювальну апаратуру, що забезпечує безперервний контроль амплітудно-частотних характеристик. Вібратор кріпився безпосередньо на стінці виливниці, що забезпечує ефективне зняття внутрішніх напружень.

Результати статистичної обробки стійкості виливниць для кожного режиму впливу наступні (дається середнє арифметичне число наливів):

- без обробки - 82,8
- віброобробка протягом:
  - 4 хв - 83,7
  - 6 хв - 84,1
  - 8 хв - 91,4
  - 10 хв - 92,0
  - 12 хв - 92,3
  - 16 хв – 86,2

Таким чином, проведені дослідження дозволили виділити раціональний діапазон тривалості віброобробки, який склав 8-12 хв.

Вибір робочої частоти вібрації здійснювався індивідуально для кожної виливниці, що пов'язане з досягненням резонансного ефекту коливань у системі «вібратор – виливниця». Характерною рисою моменту оходження резонансних областей ( при скануванні частоти вібрації) є різке збільшення амплітуди коливань стінок виливниці (в 3-5 раз і більш). Слід зазначити, що прояв резонансного ефекту (виникнення пікових значень амплітуди коливань стінок виливниці) для кожного типу (конструкції) виливниці звичайно відбувається в досить вузькому діапазоні частот коливань. Установлене, що в частотному діапазоні 5-100 Гц можуть перебувати від 4 до 8 резонансних областей. Наприклад, в виливницях для злитків масою 11-13 т резонанс спостерігався в наступних діапазонах: 21-28 Гц, 34-41 Гц, 52-56 Гц, 67-71 Гц і тощо.

Порівняння ефективності зняття залишкових внутрішніх напружень при віброобробці на різних резонансних частотах показує, що для резонансних частот першого й другого порядку характерно більш глибоке зняття залишкових навантажень. Однак, у цьому випадку потрібна досить чітка фіксація тривалості періоду обробки, оскільки при перевищенні його

критичного значення можуть збільшитися внутрішні напруження в стінках виливниць.

Для резонансних частот третього-п'ятого порядків відзначається плавне зниження внутрішніх залишкових навантажень при деякому зменшенні загального ефекту обробки.

Експериментально встановлено, що максимальний ефект зняття внутрішніх напружень може бути досягнутий при послідовній віброобробці виливниці на декількох резонансних частотах. Очевидно, її доцільно починати з резонансних частот більш високого (6-го) порядку, тому що при цьому знижується ймовірність руйнування виливниці в результаті додаткових навантажень, що виникають при накладенні вібрації.

Для більшості типів металургійних виливниць виявляється достатньою обробка на трьох діапазонах резонансних частот. Причому останній повинен відповідати резонансній частоті першого порядку. При цьому загальна тривалість усього циклу обробки може становити порядку 11-15 хвилин, а загальний рівень внутрішніх напружень знижується на 60-80%.

У розглянутих дослідженнях напружений стан вивчали для двох типорозмірів наскрізних виливниць (маса злитка відповідно 9 - 16 і 34 - 45 т). Для кожного типорозміру за результатами візуального огляду відбиралися виливниці без видимих механічних ушкоджень і ливарних дефектів. Вимір внутрішніх напружень здійснювали на п'ятох рівнях по висоті виливниць у крапках, розташованих на середині кожної грані й на кожному ребрі. Крапки вимірів навантажень розташовували на зовнішній поверхні виливниць. Поверхня для проведення вимірів зачищали абразивним колом (1,0 - 1,5 мм) і протравлювали азотною кислотою (0,4 - 0,6 мм). Зняття шару металу за допомогою травлення забезпечувало усунення можливого наклепу або пригару металу в ході механічної обробки.

Установлені наступні загальні закономірності розподілу внутрішніх напружень у стінках виливниць:

- в усіх без винятку виливницях виявлені зони розтягувальних навантажень у верхнього й нижнього торців, а також уздовж усіх ребер;
- зони стискаючих навантажень відзначені на поверхні граней у середині виливниць;
- практично для всіх досліджених виливниць спостерігали нерівномірний розподіл навантажень від грані до грані або від ребра до ребра.

Порівняння напруженого стану виливниць до й після віброобробки показало, що в результаті вібраційного впливу загальний рівень внутрішніх напружень в виливниці знижується на 40-80%. При цьому більше зменшення внутрішніх напружень спостерігається, у першу чергу, у зонах виливниці з підвищеними значеннями величини внутрішніх напружень, ідентифікованих до обробки. Характерною рисою вібраційного впливу також є той факт, що в результаті вібрації більшою мірою зменшуються абсолютні значення розтягувальних навантажень.

Узагальнюючи ефект впливу вібрації на напружений стан виливниці, слід зазначити, що в процесі такої обробки відбувається не тільки зниження

					КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		



загального рівня внутрішніх напружень у цілому по виливниці, але і їх більш рівномірний розподіл.

Для вивчення напруженого стану виливниць у процесі експлуатації для досвідчених (з віброобработкой) і порівняльних ( без віброобробки) виливниць створювалися приблизно однакові умови експлуатації (кількість і періодичність наливів марки, що заливаються, сталей, умови добування злитків тощо).

Характерною рисою зміни рівня внутрішніх напружень в виливницях, підданих віброобработці, є більш повільне їхнє збільшення з ростом кількості наливів. При цьому відзначено, що внутрішні напруження швидше ростуть у місцях з меншими значеннями, що приводить до більш рівномірного їхнього розподілу в різних зонах. Характер зміни внутрішніх напружень у стінці виливниці в процесі експлуатації наведений на рисунку 4.1.

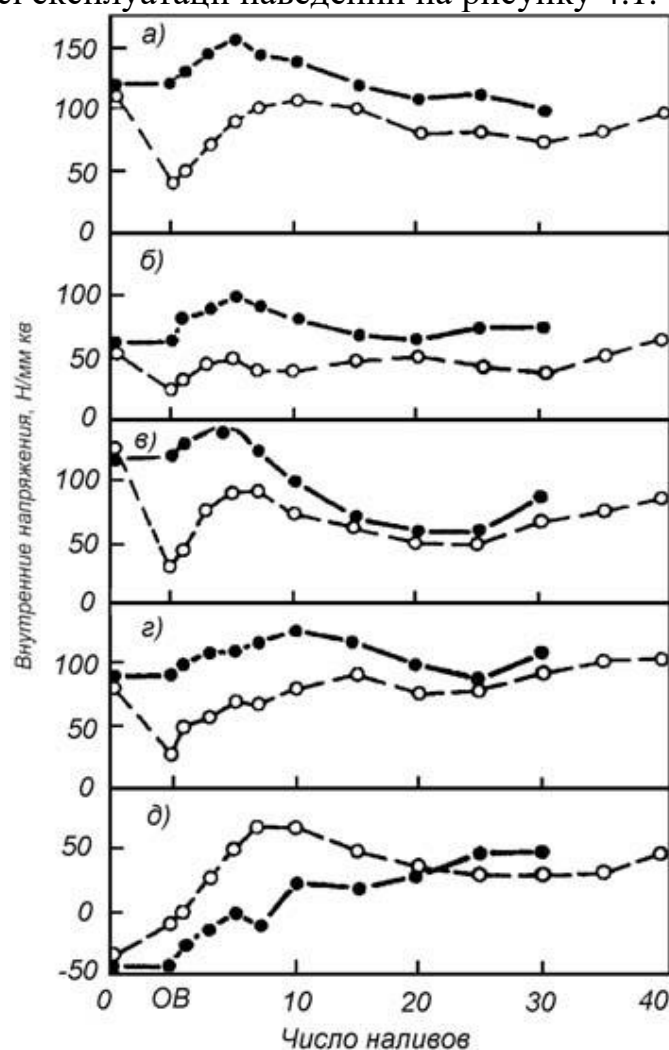


Рисунок 4.1 – Зміна величини внутрішніх напружень у стінці виливниці (суцільна лінія - без обробки; штрихова - з віброобработкою; ОВ - стан виливниці після віброобробки перед першим наливом); а) ребро виливниці у верхньому шарі; б) середина висоти ребра виливниці; в) ребро виливниці в нижньому шарі; г) середина грані виливниці у верхньому шарі; д) середина грані виливниці на половині її висоти.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Виходячи з отриманих результатів, для промислових випробувань були рекомендовані два базові варіанти технологічного процесу віброобробки виливниць:

- віброобробка виливниць після механічної обробки перед початком експлуатації;
- віброобробка виливниць після 5-10 наливів при досягненні в ній внутрішніх напружень порядку  $(0,7-0,8) \sigma_{\Sigma}$ .

Як видно з даних, наведених у табл.4.1, ефект віброобробки на стійкість виливниці проявляється в більшій або меншому ступені залежно від моменту проведення обробки й вихідного рівня залишкових навантажень.

Таблиця 4.1

Порівняння стійкості виливниць для різних режимів віброобробки

Максимальний уровень напряжений в стенке изложницы, $\sigma_{\max}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Число исследованных изложниц, штук	Время начала виброобработки, минут	Средняя стойкость, наливов	Причины выхода изложниц из строя
<b>изложницы для слитков массой 9-16 тонн</b>				
До 60	7	Перед эксплуатацией	36	Продольная трещина (4), сетка разгара (2), скол (1)
До 60	6	После 7-8 наливов	43	сетка разгара (4), продольная трещина (2)
70-130	8	Перед эксплуатацией	34	Продольная трещина (5), сетка разгара (1), скол (2)
70-130	6	После 7-8 наливов	28	Продольная трещина (5), скол (1)
Выше 130	4	Перед эксплуатацией	14	Продольные трещины
<b>изложницы для слитков массой 9-16 тонн</b>				
До 60	8	Перед эксплуатацией	24	Продольная трещина (4), сетка разгара (2), скол (1), поперечная трещина (1)

До 60	6	После 4-5 нали- вов	26	сетка разга- ра (4), про- дольная трещина (1), скол (1)
70-130	7	Перед эксплуа- тацией	34	Продольная трещина (3), сетка разгара (2), скол (2)
70-130	7	После 4-5 нали- вов	24	Продольная трещина (4), скол (1), сетка разга- ра (1),
Выше 130	5	Перед эксплуа- тацией	12	Продоль- ные трещи- ны

Наявність такого граничного значення внутрішніх напружень в виливниці дуже суттєве.

Оскільки в процесі експлуатації виливниць іде не тільки поступове нагромадження в них внутрішніх напружень, але й різка зміна напруженого стану в ході заливання сталі, те перехід через цей поріг може привести до швидкого виходу виливниці з ладу через утворі макротріщин.

Визначення таких граничних значень для важконапруженого стану, у якому звичайно перебуває виливниця, розрахунковим шляхом представляється досить проблематичним. Одним з найбільш доступних шляхів у цьому випадку може бути аналіз експериментальних даних. При цьому для конкретних типорозмірів виливниць, матеріалу, умов експлуатації й т.п. граничні значення навантажень можуть суттєво відрізнятися.

Наприклад, у проведених дослідженнях експериментально встановлене, що максимальний ефект вібраційної обробки перед початком експлуатації досягається в виливницях з початковим рівнем внутрішніх напружень 70-130 Н/мм<sup>2</sup>. В виливницях з початковим рівнем навантажень понад 130-140 Н/мм<sup>2</sup> спостерігається суттєве зменшення їх стійкості (навіть нижче стійкості порівняльних), що, очевидно, слід пояснювати негативною дією вібрації. Такий ефект віброобробки пов'язаний з тим, що в цьому випадку сума величин початкових внутрішніх напружень, викликуваних вібраційним впливом, виявляється достатньої для утвору мікротріщин і мікроруйнувань, що прискорюють руйнування виливниці в цілому.

Для виливниць, що мають порівняно низький початковий рівень внутрішніх напружень, віброобробку доцільно здійснювати через певне (оптимальне) число наливів. Безумовно, залежно від умов експлуатації й конструкції виливниці це число наливів може бути різним.

Однак, досить очевидним є той факт, що й у цьому випадку повинне існувати граничне значення внутрішніх напружень, при якому доцільно здійснювати вібраційну обробку. У промислових умовах більш ефективним

може виявитися саме контроль внутрішніх напружень в виливниці в процесі експлуатації, а не регламентування числа наливів, після якого необхідно проводити стабілізуючу віброобробку.

Статистична обробка результатів промислових досліджень по вібраційній обробці виливниць із масою злитка 5,6 т. Показала, що для 800 виливниць, підданих віброобробці, стійкість зростає приблизно на 10-12 %. При цьому приблизно на 15-20 % зменшилася кількість виливниць, вишедших з експлуатації через утворення тріщин.

У цілому отримані результати по віброобробці чавунних виливниць свідчать про її високу ефективність. Це дозволяє говорити про перспективність використання віброобробки як технологічного методу по зняттю внутрішніх залишкових навантажень у чавунних виробах.

Певні труднощі з використанням методу в промисловості слід зв'язувати з відсутністю стандартного комплексу встаткування для віброобробки. У той же час, у перспективі можна чекати підвищення ефективності віброобробки за рахунок розширення засобів контролю в процесі впливу, а також за рахунок застосування методів, що дозволяють локально впливати на окремі зони виливків.

					КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

## 5. ОЦІНКА СТАНУ УМОВ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведені в роботі дослідження щодо удосконалення технології виробництва й способу підвищення стійкості виливниць показали переваги використання методу вакуумно-плівкового формування (ВПФ) для виробництва форм і стрижнів.

Вакуумне формування - молодий процес, технологічно досить складний і має низьку продуктивність (3-6 форм за годину). Однак переваги його настільки значні, що вдосконаленням процесу займаються багато країн світу.

Основні переваги процесу такі: виключається процес приготування формувальних сумішей, так як використовується сухий пісок без використання в'язучого; не потрібне складне формувальне обладнання, тому що для формовки достатньо вібраційного струшування; спрощується процес вибивання, оскільки суміш сипуча, не грудкається, легко висипається з опоки.

Ливарні цехи забруднюють екосистему відходами. У повітряному середовищі ливарних цехів, крім пилу, у великих кількостях знаходяться оксиди вуглецю, вуглекислий і сірчистий газу, азот та його оксиди, водень, аерозолі, насичені оксидами металів, пари вуглеводнів тощо. Застосування органічних в'язучих при виготовленні форм призводить до значного виділення токсичних газів у процесі сушіння та особливо при заливанні металу. Залежно від класу в'язучого, в атмосферу цеху можуть виділятися такі шкідливі речовини як аміак, ацетон, акролеїн, фенол, формальдегід, фурфурол та ін.

При виготовленні форм і стрижнів з тепловим сушінням і використанні формувального оснащення, що нагрівається, забруднення повітряного середовища токсичними компонентами можливе на всіх стадіях технологічного процесу: при виготовленні сумішей, затвердінні стрижнів і форм і охолодженні стрижнів після вилучення з оснастки.

Очевидно, в ливарних цехах проявляється несприятливий кумулятивний ефект комплексного чинника, у якому шкідливий вплив кожного окремого інгредієнта (пилу, газів, температури, вібрації, шуму) різко збільшується.

Тверді відходи ливарного виробництва містять до 90% відпрацьованих формувальних сумішей, включаючи брак форм та стрижнів. Кількість фенолів у відвальних сумішах перевищує вміст інших токсичних речовин. Феноли і формальдегіди утворюються в процесі термодеструкції формувальних сумішей, в яких є синтетичні смоли. Ці речовини добре розчиняються у воді, що створює небезпеку попадання їх у водоймища при вимиванні поверхневими (дощовими) або ґрунтовими водами.

Традиційне формування зі склеюванням частинок піщаної суміші шляхом створення мостів між зернами піску, коли міцність зв'язування залежить від сил когезії та адгезії, поступилася місцем ущільнюючого піщану форму перепаду атмосферного і зниженого тиску повітря в порах цього піску в середині форми. Вакуумування замість хімічного зв'язування різко

					КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

посилило тертя частинок піску і створило пружні стискаючі напруги, що утримують пісок форми в монолітному нерухомому стані достатньої міцності для властивих для лиття технологічних навантажень, в тому числі тиск металу, що заливається.

Введення вакуумування в ливарний процес з піщаним формуванням дозволило розробити ряд маловідходних та безвідходних виробництв шляхом мінімізації органічних матеріалів в технологіях формування.

Відсутність в'язучого під час виготовлення форми дало наступні позитивні результати: 1) різко скорочується викиди забруднювачів - на порядок і більше зменшуються викиди шкідливих газів в атмосферу цеху та значно підвищується культура виробництва; 2) забезпечується ресурсозбереження за рахунок багаторазового рециклінгу не менше 95% піску без екологічно шкідливих відходів – форми, виготовлені з використанням в'язучих, утворюють до 80% забруднювачів ливарних цехів; 3) підвищується точність виливків за рахунок виключення прилипання до моделей суміші - знижені або усунуті ухили та припуски на моделях; 4) спрощується ущільнення суміші без значних силових навантажень.

					КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

## **6 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ В ПРОМИСЛОВОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ**

За даними досвідчених технологів відомо, що витрати на виробництво оснащення можуть досягати до 50% виробничої собівартості. Конкретні витрати на виготовлення оснащення залежать від технології і складності процесів. Кожний технологічний етап вимагає специфічного устаткування, відповідного оснащення, організаційних підходів виробництва та праці. Тому однозначного вирішення проблем оптимізації не існує. Все залежить від виробничої ситуації – наявного устаткування (важливим є його продуктивність та рівень зношення), фінансових можливостей до його оновлення, замовлення певного виду ливарної продукції і її обсягу.

Підвищення економічної ефективності, яка тісно пов'язана з технологічністю всіх ливарних процесів та якістю їх реалізації (що впливає і якість кінцевої ливарної продукції) можливо досягти шляхом застосування інноваційних технологій.

На основні показники економічної ефективності технології впливає ефективність використання ресурсів. Можна рекомендувати наступні показники:

- вихід придатного, що характеризує частку виготовлених відливок (%) від загальної кількості металу в плавильній печі – враховуються втрати при плавці, заливці у форму, на ливникову систему, брак та ін.;
- продуктивність устаткування – як час на виробництво придатної продукції – враховуються втрати часу на простой устаткування, виробничі затримки;
- витрати енергоносіїв, формувальних сумішей при підготовці виробництва, води при виробництві лиття;
- продуктивність праці персоналу – як характеристика загальної кількості людино-годин на виробництво придатних до реалізації відливок за конкретний період часу (від року до відпрацьованої зміни).

Ефективність забезпечується у випадку оптимізації всіх згаданих показників.

Якщо говорити про підготовку до виробництва лиття, то необхідно відмітити, що найбільш вартісним є виготовлення форм та ливарного оснащення. Особливо в умовах виробництва відливок невеликими партіями вартість оснащення значним чином впливає на кінцеву собівартість і відповідно на ціну відливки. А якість виготовленого ливарного оснащення часто визначає і якість литих виробів. Адекватно сконструйоване та ретельно виготовлене оснащення забезпечує не тільки високу точність відливка, але й зменшує кількість ливарного браку, збільшує продуктивність праці та зменшує витрати на кінцеву обробку відливка.

Виготовлення оснащення на власних потужностях дозволяє ливарному підприємству своєчасно перевіряти конструкцію і оптимізувати перелік та кількість матеріалів перед використанням їх у масовому виробництві та мінімізувати витрати при виробництві невеликих серій ливарних виробів.

					КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

Для вибору оптимальної технології виготовлення оснащення з точки зору її економічності рекомендуємо порівняння їх з традиційними підходами (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Критерії порівняння технологій виготовлення оснащення

Критерій	Порівнювані технології	
	традиційна	запропонована
Час виготовлення оснащення	4-8 тижнів, можливо з залученням сторонніх спеціальних виробництв	24 години, власними силами з використанням адитивних технологій
Вартість оснащення	Високі витрати, особливо додаткові витрати	Нижчі витрати, особливо при використанні способу прототипів
Обсяг виробництва ідеальний для отримання бажаної ефективності	5 тис. моделей і більше	Від 1 до 10 тис. моделей в залежності від процесу і матеріалу оснащення
Способи застосування	При масовому виробництві лиття	Виробництво лиття під замовлення, малими партіями або одиничне виробництво

Також можна при виборі технології розглянути варіанти виготовлення оснащення методом механічної обробки та методом 3D друку (табл.6.2).

Таблиця 6.2 – Порівняння виробничих процесів впровадження виготовлення оснащення

Параметри	Виготовлення оснащення методом	
	механічної обробки	3D друку
Методи випробування	Передача виготовлення оснащення і моделей окремим структурам	Виготовлення оснащення і моделей власними зусиллями
Устаткування	-	3D принтер, інструмент (настільний апарат для лиття під тиском, машина для термоформування та ін.)
Матеріал	Оброблені модельні плити, деревина, пластик або алюміній	Надрукована на 3D принтері прес-форма з полімеру
Вартість оснащення	350 грн./шт.	75 грн./шт.
Термін виготовлення моделей	1-4 тижні	1-3 дні
Оптимальний обсяг виготовлення (для мінімізації витрат)	50-10000 моделей	До 500 моделей
Способи застосування	Оціночні дослідження. Під замовлення або виготовлення малими партіями	Прототипування. Оціночні дослідження. Під індивідуальні замовлення або виготовлення партіями будь яких обсягів

Будь які із зазначених в табл. 6.2 характеристик впливають на економічні показники – собівартість, тривалість підготовки до виробництва та



виготовлення продукції, рівень задоволення вимог замовника і відповідно ціна продукції та прибутковість підприємства.

					КНУ РМ.136.24.544с-04.04 УТ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

## Висновки

Основними причинами виходу виливниць із експлуатації є утворення поздовжніх і поперечних тріщин, виникнення на внутрішній поверхні сітки розпалу, жолоблення стінок виливниць і т.п. Крім експлуатаційних, в виливницях спостерігаються й ливарні дефекти.

На стійкість виливниць впливає велика кількість факторів, основними з яких є: фізичні й механічні властивості чавуну; хімічний склад чавуну; макро й мікроструктура чавуну; технологія виготовлення виливниць; умови експлуатації виливниць; конструкція виливниць; марка сталі, що розливається в виливниці.

Вибір оптимального матеріалу для виливниць представляється, на наш погляд, украй складною й суперечливою проблемою, розв'язок якої в ряді випадків залежить від конкретних умов даного ливарного й сталеплавильного цехів. Досить часто вибір матеріалу виливниці ґрунтується на загальному принципі забезпечення максимальної її стійкості. Однак, в умовах розвитку ринкових відносин при виборі матеріалу виливниць слід урахувати комплексний критерій, що охоплює основні економічні аспекти виробництва й експлуатації виливниць.

Практика металургійного виробництва показує, що для виливниць успішно використовують різні чавуни. Тим часом, у цей час немає єдиної думки про те, які марки чавуну доцільно використовувати в тому або іншому випадку. У сукупності з економічними міркуваннями в чорній металургії перевагу віддають передільному чавуну першої плавки, який безпосередньо з доменного цеху направляють у ливарний. Безумовно, відсутність додаткового переплаву чавуну забезпечує досить суттєве зниження собівартості виливниць.

Більш складним є питання про регламентацію форми графіту в виливниці, оскільки цей параметр забезпечує варіабельність властивостей чавуну в досить широких межах. Тому при виборі матеріалу виливниці в увагу ухвалюють характер дефектів (тріщин), що виникають у стінках виливниць у процесі експлуатації в сукупності з показником стійкості виливниці по основних дефектах.

Чавун з вермікулярним (червоподібним) графітом (ЧВГ або CGI) має переважно феритную основу й має рядом специфічних властивостей, які висувають його в число нових перспективних конструкційних матеріалів для виливків різного призначення.

ЧВГ має в 2 рази більшу термостійкість, чому ЧШГ і в 6 раз більшу, ніж СЧ, що пояснюється його більш високою теплопровідністю й меншим рівнем термічних навантажень у порівнянні зі ЧШГ і меншою швидкістю поширення тріщин у порівнянні зі СЧ.

					КНУ РМ.136.24.544с-04 В			
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Висновки</b>	Лит	Лист	Листов
Разраб.	Зайцев В.С.							
Пров.	Сайтгареев Л.Н							
Т. контр.								
Н. контр.	Сайтгареев Л.Н							
Утв.	Савельев С. Г.					ЛВ-23м		

Основні вимоги до ливарної технології для можливого бездефектного виробництва виливків «виливниця»:

- Відсутність газовиділення формувальних і стрижневих матеріалів при заливанні форми металом.
- Твердість стрижня під час первинної кристалізації металу й піддатливість стрижня в процесі подальшого охолодження й усадки тіла виливка.
- Вільне видалення формувального й стрижневого матеріалів з виливка без застосування механічних або пневматичних способів очищення.
- Висока чистота й геометрична точність поверхонь виливка, особливо робочої частини.
- Заливання металу в закриту форму.

Пропонована технологія одержання виливків «Виливниця» з використанням методу вакуумно-плівкового формування (ВПФ) для виробництва форм і стрижнів, дозволяє максимально врахувати перерахованих вище аспекти.

Орієнтовний розрахунок ефективності виготовлення великогабаритних виливків «Виливниця» по V-Процесу, проведений для одного з металургійних комбінатів, у порівнянні з існуючим методом виготовлення, показав окупність усіх витрат на його впровадження за 1,5-2 роки.

Обробка результатів промислових досліджень по вібраційній обробці виливниць із масою злитка 5,6 т. Показала, що для виливниць, підданих віброобробці, стійкість зростає приблизно на 10-12 %. При цьому приблизно на 15-20 % зменшилася кількість виливниць, вишедших з експлуатації через утворення поздовжніх тріщин. Це дозволяє говорити про перспективність використання віброобробки як технологічного методу по зняттю внутрішніх залишкових навантажень у чавунних виробках.